

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年12月22日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-390849

出 願 人

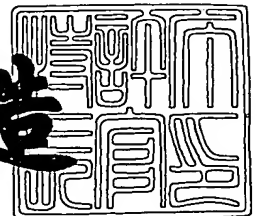
Applicant(s):

アルプス電気株式会社

2001年 9月20日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3086761

【書類名】 特許願  
【整理番号】 001205AL  
【提出日】 平成12年12月22日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 G11B 5/39  
【発明の名称】 磁気検出素子の製造方法  
【請求項の数】 19

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社  
社内

【氏名】 梅津 英治

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社  
社内

【氏名】 長谷川 直也

【特許出願人】

【識別番号】 000010098

【氏名又は名称】 アルプス電気株式会社

【代表者】 片岡 政隆

【代理人】

【識別番号】 100085453

【弁理士】

【氏名又は名称】 野▲崎▼ 照夫

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 041070

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

特 2 0 0 0 - 3 9 0 8 4 9

【物件名】            要約書    1  
【ブルーフの要否】    要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気検出素子の製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 (a) 基板上に第 1 の反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層、フリー磁性層、非磁性中間層、強磁性層、及び保護膜を有する多層膜を成膜する工程と、

(b) 前記多層膜を、第 1 の熱処理温度、第 1 の大きさの磁界中で、磁場中アニールして前記固定磁性層の磁化方向を所定方向に固定する工程と、

(c) 前記保護膜、及び前記強磁性層を所定厚さ削る工程と、

(d) 前記強磁性層を磁性材料を用いて再成膜し、さらに前記強磁性層上に第 2 の反強磁性層を連続成膜する工程と、

(e) 前記第 2 の反強磁性層が積層された多層膜を、第 2 の熱処理温度、第 2 の大きさの磁界中で磁場中アニールすることにより、前記フリー磁性層の磁化方向を前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向に向ける工程と、

(f) 前記第 2 の反強磁性層上に、トラック幅の間隔をあけて一对のレジストを積層し、前記第 2 の反強磁性層の前記レジストによって挟まれた部位をトラック幅方向に対して垂直方向に削り込むことにより凹部を形成する工程と、

を有することを特徴とする磁気検出素子の製造方法。

【請求項 2】 (g) 基板上に第 1 の反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層、フリー磁性層、非磁性中間層、強磁性層、及び他の反強磁性層を有する多層膜を成膜する工程と、

(h) 前記多層膜を、第 1 の熱処理温度、第 1 の大きさの磁界中で、磁場中アニールして前記固定磁性層の磁化方向を所定方向に固定する工程と、

(i) 前記多層膜上に第 2 の反強磁性層を成膜する工程と、

(j) 前記第 2 の反強磁性層が積層された多層膜を、第 2 の熱処理温度、第 2 の大きさの磁界中で磁場中アニールすることにより、前記フリー磁性層の磁化方向を前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向に向ける工程と、

(k) 前記第 2 の反強磁性層上に、トラック幅の間隔をあけて一对のレジストを積層し、前記第 2 の反強磁性層の前記レジストによって挟まれた部位をトラック



幅方向に対して垂直方向に削り込むことにより凹部を形成する工程と、  
を有することを特徴とする磁気検出素子の製造方法。

【請求項 3】 前記 (g) の工程において、前記強磁性層の上面に接して、  
非磁性層を積層する請求項 2 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 4】 前記他の反強磁性層との R K K Y 結合により前記強磁性層の  
磁化方向が前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向へ向けられる請求項 3 に記  
載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 5】 前記非磁性層を R u, C u, A g, A u のうち 1 種または 2  
種以上の元素を用いて形成する請求項 3 または 4 に記載の磁気検出素子の製造方  
法。

【請求項 6】 前記 (f) の工程または前記 (k) の工程において、前記凹  
部の底面が前記第 2 の反強磁性層内に位置するように、前記凹部を形成する請求  
項 1 ないし 5 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 7】 前記凹部の底面の下部に位置する前記第 2 の反強磁性層の領  
域の厚さ、または前記凹部の底面の下部に位置する前記第 2 の反強磁性層の領域  
と前記他の反強磁性層の厚さの合計を 0 より大きく 3 0 Å 以下にする請求項 6 に  
記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 8】 前記 (f) の工程または前記 (k) の工程において、前記凹  
部の底面が前記強磁性層内に位置するように、前記凹部を形成する請求項 1 ない  
し 5 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 9】 前記 (f) の工程または前記 (k) の工程において、前記凹  
部の底面が前記非磁性中間層内に位置するように、前記凹部を形成する請求項 1  
ないし 5 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 1 0】 前記 (k) の工程において、前記凹部の底面が前記他の反  
強磁性層内に位置するように前記凹部を形成する請求項 2 ないし 5 のいずれかに  
記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 1 1】 前記凹部の底面の下部に位置する前記他の反強磁性層の領  
域の厚さを 0 より大きく 3 0 Å 以下にする請求項 1 0 に記載の磁気検出素子の製  
造方法。

【請求項 1 2】 前記 (k) の工程において、前記凹部の底面が前記非磁性層内に位置するように前記凹部を形成する請求項 3 ないし 5 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 1 3】 前記 (e) 又は (j) の工程において、第 2 の熱処理温度を第 1 の反強磁性層のブロッキング温度より低い温度に設定する請求項 1 ないし 1 2 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 1 4】 前記 (e) 又は (j) の工程において、第 2 の磁界の大きさを第 1 の反強磁性層の交換異方性磁界より小さくする請求項 1 ないし 1 3 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 1 5】 前記 (f) または (k) の工程の代りに、  
(1) 前記第 2 の反強磁性膜上に、トラック幅方向に間隔をあけて一対の電極層を積層し、前記第 2 の反強磁性層の前記一対の電極層によって挟まれた部位を削り込むことにより底面の幅寸法がトラック幅に等しい凹部を形成する工程を有する請求項 1 ないし 1 4 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 1 6】 前記 (a) の工程において、前記固定磁性層を、単位面積あたりの磁気モーメントの大きさが異なる複数の強磁性材料層を、非磁性中間層を介して積層することによって形成する請求項 1 ないし 1 5 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 1 7】 前記非磁性中間層を、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cu のうち 1 種あるいは 2 種以上の合金で形成する請求項 1 6 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 1 8】 前記第 1 の反強磁性層と前記第 2 の反強磁性層を、同じ組成の反強磁性材料を用いて形成する請求項 1 ないし 1 7 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 1 9】 前記第 1 の反強磁性層及び／又は前記第 2 の反強磁性層を、PtMn 合金、または、X-Mn (ただし X は、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Fe のいずれか 1 種または 2 種以上の元素である) 合金で、あるいは Pt-Mn-X' (ただし X' は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Kr のいずれか 1 種または 2 種以上の元素で

ある) 合金で形成する請求項 1 ないし 1 8 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、主に、磁気センサやハードディスクなどに用いられる磁気検出素子に係り、特に磁界検出能力を向上させることができる磁気検出素子の製造方法に関する。

【0 0 0 2】

【従来技術】

図 3 3 は、従来製造方法によって形成された磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面から見た断面図である。

【0 0 0 3】

図 3 3 に示す磁気検出素子は、巨大磁気抵抗効果を利用した GMR (giant magnetoresistive) 素子の 1 種であるスピバルブ型磁気検出素子と呼ばれるものであり、ハードディスクなどの記録媒体からの記録磁界を検出するものである。

【0 0 0 4】

このスピバルブ型磁気検出素子は、下から基板 8、反強磁性層 1、固定磁性層 (ピン (Pinned) 磁性層) 2、非磁性材料層 3、フリー磁性層 (Free) 4 で構成された多層膜 9 と、この多層膜 9 の上層に形成された一対の縦バイアス層 6、6 及びこの縦バイアス層 6、6 の上に形成された一対の電極層 7、7 とで構成されている。

【0 0 0 5】

前記反強磁性層 1 及び縦バイアス層 6、6 には Fe-Mn (鉄-マンガン) 合金膜や Ni-Mn (ニッケル-マンガン) 合金膜、固定磁性層 2 及びフリー磁性層 4 には Ni-Fe (ニッケル-鉄) 合金膜、非磁性材料層 3 には Cu (銅) 膜、また電極層 7、7 には Cr 膜が一般的に使用される。

【0 0 0 6】

図 3 3 に示すように、固定磁性層 2 の磁化は、反強磁性層 1 との交換異方性磁

界により Y 方向（記録媒体からの洩れ磁界方向；ハイト方向）に単磁区化され、フリー磁性層 4 の磁化は、前記縦バイアス層 6，6 からの交換異方性磁界の影響を受けて X 方向に揃えられることが望ましい。

## 【0007】

すなわち固定磁性層 2 の磁化と、フリー磁性層 4 の磁化とが、直交することが望ましい。

## 【0008】

このスピバルブ型磁気検出素子では、縦バイアス層 6，6 上に形成された電極層 7，7 から、フリー磁性層 4、非磁性材料層 3 及び固定磁性層 2 に検出電流（センス電流）が与えられる。ハードディスクなどの記録媒体の走行方向は Z 方向であり、記録媒体からの洩れ磁界が Y 方向に与えられると、フリー磁性層 4 の磁化が X から Y 方向へ向けて変化する。このフリー磁性層 4 内での磁化の方向の変動と、固定磁性層 2 の固定磁化方向との関係で電気抵抗が変化し（これを磁気抵抗効果という）、この電気抵抗値の変化に基づく電圧変化により、記録媒体からの洩れ磁界が検出される。

## 【0009】

## 【発明が解決しようとする課題】

従来、図 33 に示されるスピバルブ型磁気検出素子を製造するときには、基板 8 上に、反強磁性層 1、固定磁性層（ピン（Pinned）磁性層）2、非磁性材料層 3、フリー磁性層（Free）4 を順次連続成膜して多層膜 9 を形成し、さらに、この多層膜 9 の上層に縦バイアス層 6，6 及び電極層 7，7 を成膜していた。

## 【0010】

反強磁性層 1 から電極層 7，7 まで成膜した後に、まず固定磁性層 2 の磁化方向を Y 方向に揃えるための第 1 の磁場中アニールを行い、次にフリー磁性層 4 の磁化方向を X 方向に揃えるための第 2 の磁場中アニールを行う必要がある。

## 【0011】

しかし、反強磁性層 1 から電極層 7，7 まで成膜した後に、第 1 の磁場中アニール及び第 2 の磁場中アニールを行うと、第 2 の磁場中アニールの際に反強磁性層 1 と固定磁性層 2 の界面に作用する交換異方性磁界が Y 方向から X 方向に傾き

、固定磁性層 2 の磁化方向とフリー磁性層 4 の磁化方向が非直交になり、出力信号波形の対称性が得られなくなる度合（アシンメトリー）が増大するという問題が生じていた。

## 【 0 0 1 2 】

上述した問題は、特に反強磁性層 1 と縦バイアス層 6 が同じ組成を有する反強磁性材料によって形成されるときに顕著に現れる。

## 【 0 0 1 3 】

また、図 3 3 のスピンプルズ型磁気検出素子を製造するときには、多層膜 9 を形成した後、図 3 4 に示すように多層膜 9 上にリフトオフ用のレジスト層 R を形成し、イオンビームスパッタ法などを用いて縦バイアス層 6, 6、及び電極層 7, 7 を成膜する。レジスト層 R 上には、縦バイアス層 6, 6 と同じ組成の層 6 a, 6 a 及び電極層 7, 7 と同じ組成の層 7 a, 7 a が形成される。

## 【 0 0 1 4 】

レジスト層 R の両端部によって覆われている領域は、スパッタ粒子が積層されにくい。従って、レジスト層 R の両端部によって覆われている領域付近は、縦バイアス層 6, 6 及び電極層 7, 7 は膜厚が薄く形成され、図 3 3 及び図 3 4 に示されるように縦バイアス層 6, 6 及び電極層 7, 7 の膜厚方向寸法がトラック両脇部分 S, S において減少する。

## 【 0 0 1 5 】

このため、トラック両脇部分 S, S におけるフリー磁性層 4 と縦バイアス層 6, 6 との交換結合の効果が減少してしまう。その結果、図 3 3 におけるフリー磁性層 4 のトラック両脇部分 S, S の磁化方向が、X 方向に完全に固定されず、外部磁界が印加されたときに変化してしまう。

## 【 0 0 1 6 】

特に、磁気記録媒体における記録密度を向上させるために、狭トラック化を図った場合、本来トラック幅  $T_w$  の領域内で読み取るべき磁気記録トラックの情報だけでなく、隣接する磁気記録トラックの情報を、トラック両脇部分 S, S の領域において読み取ってしまうという、サイドリーディングが発生する可能性が生じるという問題があった。

【 0 0 1 7 】

本発明は上記従来の課題を解決するためのものであり、固定磁性層の磁化方向とフリー磁性層の磁化方向とをより確実に直交させることができ、また、サイドリーディングを抑えることのできる磁気検出素子の製造方法を提供することを目的とする。

【 0 0 1 8 】

【課題を解決するための手段】

本発明の磁気検出素子の製造方法は、（a）基板上に第1の反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層、フリー磁性層、非磁性中間層、強磁性層、及び保護膜を有する多層膜を成膜する工程と、

（b）前記多層膜を、第1の熱処理温度、第1の大きさの磁界中で、磁場中アニールして前記固定磁性層の磁化方向を所定方向に固定する工程と、

（c）前記保護膜及び前記強磁性層を所定厚さ削る工程と、

（d）前記強磁性層を磁性材料を用いて再成膜し、さらに前記強磁性層上に第2の反強磁性層を連続成膜する工程と、

（e）前記第2の反強磁性層が積層された多層膜を、第2の熱処理温度、第2の大きさの磁界中で磁場中アニールすることにより、前記フリー磁性層の磁化方向を前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向に固定する工程と、

（f）前記第2の反強磁性層上に、トラック幅の間隔をあけて一対のレジストを積層し、前記第2の反強磁性層の前記レジストによって挟まれた部位をトラック幅方向に対して垂直方向に削り込むことにより凹部を形成する工程と、を有することを特徴とするものである。

【 0 0 1 9 】

本発明では、前記多層膜上に第2の反強磁性層を積層しない状態で、前記多層膜を、磁場中アニールして前記固定磁性層の磁化方向を所定方向に固定するので、前記多層膜上に第2の反強磁性層を積層した状態では、前記第2の反強磁性層と強磁性層との間に交換異方性磁界が発生していない。

【 0 0 2 0 】

すなわち、前記第2の反強磁性層による交換異方性磁界は、前記（d）の工程

において始めて生じ、前記フリー磁性層の磁化方向を所定の方向に移動させることが容易になる。従って、前記フリー磁性層の磁化方向を、前記固定磁性層の磁化方向と直交する方向に固定することが容易になる。

#### 【0021】

なお、前記（a）の工程を、同一真空成膜装置内において行うことが好ましい。

#### 【0022】

また、本発明の製造方法によって製造された磁気検出素子では、トラック幅が前記凹部の底面の幅寸法によって決定される。すなわち、前記凹部の底面に重なる部分でのみ、前記フリー磁性層などの外部磁界によって磁化方向が変化する磁性層の磁化方向を変化させることができる。しかも、前記凹部は、一様の厚さで成膜された前記第2の反強磁性層を、反応性イオンエッチング（RIE）やイオンミリングを用いて、トラック幅方向に対する垂直方向に削るだけで形成することができるので、正確な幅寸法で前記凹部を形成することが可能になる。すなわち、磁気検出素子のトラック幅を正確に規定できる。

#### 【0023】

さらに、本発明では前記凹部の側面をトラック幅方向に対して垂直面となるようにすることが可能である。すなわち、トラック幅領域から外れた全領域において、第2の反強磁性層が反強磁性を発生するために十分な膜厚を有することができ、トラック幅領域から外れた全領域において前記フリー磁性層の磁化方向を確実に固定することができる。

#### 【0024】

従って、磁気検出素子のトラック幅領域でのみ前記フリー磁性層の磁化方向を動かし、トラック幅領域周辺におけるサイドリーディングを防止することができる。

#### 【0025】

または、本発明の磁気検出素子の製造方法は、

（g）基板上に第1の反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層、フリー磁性層、非磁性中間層、強磁性層、及び他の反強磁性層を有する多層膜を成膜する工程と

(h) 前記多層膜を、第 1 の熱処理温度、第 1 の大きさの磁界中で、磁場中アニールして前記固定磁性層の磁化方向を所定の方に固定する工程と、

(i) 前記多層膜上に第 2 の反強磁性層を成膜する工程と、

(j) 前記第 2 の反強磁性層が積層された多層膜を、第 2 の熱処理温度、第 2 の大きさの磁界中で磁場中アニールすることにより、前記フリー磁性層の磁化方向を前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向に向ける工程と、

(k) 前記第 2 の反強磁性層上に、トラック幅の間隔をあけて一対のレジストを積層し、前記第 2 の反強磁性層の前記レジストによって挟まれた部位をトラック幅方向に対して垂直方向に削り込むことにより凹部を形成する工程と、  
を有することを特徴とするものである。

【 0 0 2 6 】

本発明でも、前記多層膜上に第 2 の反強磁性層を積層しない状態で、前記多層膜を、磁場中アニールして前記固定磁性層の磁化方向を所定の方に固定するので、前記多層膜上に第 2 の反強磁性層を積層した状態では、前記第 2 の反強磁性層と強磁性層との間に交換異方性磁界が発生していない。

【 0 0 2 7 】

すなわち、前記第 2 の反強磁性層による交換異方性磁界は、前記 (j) の工程において始めて生じ、前記フリー磁性層の磁化方向を所定の方に移動させることが容易になる。従って、前記フリー磁性層の磁化方向を、前記固定磁性層の磁化方向と直交する方向に固定することが容易になる。

【 0 0 2 8 】

なお、前記 (g) の工程を、同一真空成膜装置内において行うことが好ましい。

【 0 0 2 9 】

また、本発明の製造方法によって製造された磁気検出素子でも、トラック幅が前記凹部の底面の幅寸法によって決定される。すなわち、前記凹部の底面に重なる部分でのみ、前記フリー磁性層などの外部磁界によって磁化方向が変化する磁性層の磁化方向を変化させることができる。しかも、前記凹部は、一様の厚さで



成膜された前記第2の反強磁性層を、反応性イオンエッチング（RIE）やイオンミリングを用いて、トラック幅方向に対する垂直方向に削るだけで形成することができるので、正確な幅寸法で前記凹部を形成することが可能になる。すなわち、磁気検出素子のトラック幅を正確に規定できる。

## 【0030】

さらに、本発明では前記凹部の側面をトラック幅方向に対して垂直面となるようにすることが可能である。すなわち、トラック幅領域から外れた全領域において、第2の反強磁性層が反強磁性を発生するために十分な膜厚を有することができ、トラック幅領域から外れた全領域において前記フリー磁性層の磁化方向を確実に固定することができる。

## 【0031】

従って、磁気検出素子のトラック幅領域でのみ前記フリー磁性層の磁化方向を動かし、トラック幅領域周辺におけるサイドリーディングを防止することができる。

## 【0032】

さらに、本発明では、前記他の反強磁性層を伝導電子のスピン状態を保存する鏡面反射を生じる確率の高いエネルギーギャップを形成可能な材料によって構成することにより、前記他の反強磁性層を、伝導電子の平均自由行程を鏡面反射効果により延長する鏡面反射層として機能するようにできる。

## 【0033】

前記他の反強磁性層が鏡面反射層として機能するときは、前記フリー磁性層の膜厚が、15～45Åの範囲に設定されることが好ましい。

## 【0034】

フリー磁性層の膜厚が15Åより薄いと強磁性材料層として機能するように形成することが難しくなり十分な磁気抵抗効果を得ることができない。

## 【0035】

また、フリー磁性層の膜厚が45Åより厚いと前記鏡面反射層に到達する前に散乱されてしまうアップスピンの伝導電子が増加して鏡面反射効果（specular effect）によって抵抗変化率が変化する割合が減少するため好ましくない。

【0036】

前記鏡面反射層となる前記他の反強磁性層は、例えばNiMnSb, PtMnSbなどの半金属ホイッスラー合金の、単層膜または多層膜として構成されることができる。

【0037】

これらの材料を用いることにより、隣接する層との間に、十分なポテンシャル障壁を形成することが可能であり、その結果十分な鏡面反射効果を得ることができる。

【0038】

なお、前記他の反強磁性層の厚さが0より大きく30 Å以下であることが好ましい。

【0039】

前記他の反強磁性層の厚さが0より大きく30 Å以下であると、前記(h)の工程において前記他の反強磁性層と強磁性層との間に交換結合磁界が発生しないので、前記強磁性層の磁化方向が、前記固定磁性層の磁化方向と同一方向に固定されることを防ぐことができる。従って、前記(i)の工程において、前記他の反強磁性層の上層に前記第2の反強磁性層を積層したときに、前記フリー磁性層の磁化方向が、前記固定磁性層の磁化方向と同一方向に固定されることを防ぐことができる。

【0040】

なお、前記他の反強磁性層の厚さが10 Å以上30 Å以下であることがより好ましい。

【0041】

また、前記(a)の工程において、前記強磁性層の上面に接して、非磁性層を積層してもよい。

【0042】

このとき、前記強磁性層は、前記非磁性層を介した前記第2の反強磁性層とのRKKY結合により、その磁化方向が前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向へ向けられる。

## 【0043】

前記第2の反強磁性層とのRKKY相互作用によって前記磁性層の磁化方向が揃えられるものは、前記第2の反強磁性層と前記磁性層とが直に接しているものよりも交換結合力を強くすることができる。

## 【0044】

なお、前記非磁性層を導電性材料によって形成することが好ましい。前記非磁性層は、例えば、Ru, Cu, Ag, Auのうち1種または2種以上の元素を用いて形成することができる。特に、前記非磁性層がRuによって形成され、膜厚が8～11Åであることが好ましい。

## 【0045】

本発明のように、前記非磁性が導電性材料によって形成されていると、前記非磁性層をスピントラップ効果を有するバック層 (backed layer) として機能させることが可能になる。

## 【0046】

スピントラップ型磁気検出素子にセンス電流を印加すると、伝導電子はおもに電気抵抗の小さい非磁性材料層付近を移動する。この伝導電子にはアップスピンとダウンスピンの2種類の電子が確率的に等量存在する。

## 【0047】

スピントラップ型磁気検出素子の磁気抵抗変化率は、これらの2種類の伝導電子の平均自由行程の行程差に対して正の相関を示す。

## 【0048】

ダウンスピンの伝導電子については、印加される外部磁界の向きにかかわらず、非磁性材料層とフリー磁性層との界面で常に散乱され、フリー磁性層に移動する確率は低いまま維持され、その平均自由行程はアップスピンの伝導電子の平均自由行程に比べて短いままである。

## 【0049】

一方、アップスピンの伝導電子については、外部磁界によってフリー磁性層の磁化方向が固定磁性層の磁化方向と平行状態になったときに、非磁性材料層からフリー磁性層に移動する確率が高くなり、平均自由行程が長くなっている。これ

に対し、外部磁界によってフリー磁性層の磁化方向が固定磁性層の磁化方向に対して平行状態から変化するに従って、非磁性材料層とフリー磁性層との界面で散乱される確率が増加し、アップスピンの伝導電子の平均自由行程が短くなる。

## 【0050】

このように外部磁界の作用によって、アップスピンの伝導電子の平均自由行程がダウンスピンの伝導電子の平均自由行程に比べて大きく変化する。すると、伝導電子全体の平均自由行程も大きく変化する。すると、伝導電子全体の平均自由行程も大きく変化する。スピバルブ型磁気検出素子の磁気抵抗変化率 ( $\Delta R/R$ ) が大きくなる。

## 【0051】

ここで、フリー磁性層にバックド層が接続されると、フリー磁性層中を移動するアップスピンの伝導電子がバックド層内にまで移動することが可能になり、バックド層の膜厚に比例してアップスピンの伝導電子の平均自由行程をさらに伸ばすことができる。このため、いわゆるスピンフィルター効果を発現させることが可能となり、伝導電子の平均自由行程の行程差が大きくなって、スピバルブ型磁気検出素子の磁気抵抗変化率 ( $\Delta R/R$ ) をより向上させることができる。

## 【0052】

本発明では、前記凹部の底面が前記第2の反強磁性層内に位置するように、前記凹部を形成することができる。

## 【0053】

前記凹部の底面が前記第2の反強磁性層内に位置すると、前記フリー磁性層と前記強磁性層が、前記非磁性中間層を介して隣接し、前記フリー磁性層の磁化方向と前記強磁性層の磁化方向が反平行となるフェリ磁性状態となる。このとき、前記フリー磁性層、前記非磁性中間層及び前記強磁性層からなる多層膜がひとつのフリー磁性層、いわゆるシンセティックフェリフリー磁性層として機能する。シンセティックフェリフリー磁性層では、前記フリー磁性層の膜厚を薄くすることと同等の効果が得られ、フリー磁性層の磁化が変動しやすくなり、磁気抵抗効果素子の磁界検出感度が向上する。なお、前記フリー磁性層と前記強磁性層の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさは異なっている必要がある。前記フリー磁性層及び強磁性層の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさは、前記強磁性

材料層の飽和磁化 ( $M_s$ ) と膜厚 ( $t$ ) の積で表される。

【 0 0 5 4 】

なお、前記凹部の底面の下部に位置する前記第 2 の反強磁性層の領域の厚さ、または前記凹部の底面の下部に位置する前記第 2 の反強磁性層の領域と前記他の反強磁性層の厚さの合計を 0 より大きく 3 0 Å 以下にすると、前記凹部の底面の下部に位置する前記第 2 の反強磁性層の領域、または前記凹部の底面の下部に位置する前記第 2 の反強磁性層の領域と前記他の反強磁性層の領域では前記強磁性層との間に交換結合磁界が発生しないので好ましい。

【 0 0 5 5 】

なお、前記 (g) の工程において、前記多層膜を前記他の反強磁性層を有するものとして形成した場合には、前記凹部の底面が前記他の反強磁性層内に位置するように、前記凹部を形成してもよい。

【 0 0 5 6 】

このとき、前記凹部の底面の下部に位置する前記他の反強磁性層の領域の厚さを 0 より大きく 3 0 Å 以下にすると、前記凹部の底面の下部に位置する前記他の反強磁性層の領域では、前記強磁性層との間に交換異方性磁界が発生しないので好ましい。

【 0 0 5 7 】

あるいは、前記強磁性層の上面に接して、非磁性層が積層された多層膜を形成した場合には、前記凹部の底面が前記非磁性層内に位置するように前記凹部を形成してもよい。

【 0 0 5 8 】

また、前記凹部の底面が前記強磁性層内に位置するように、前記凹部を形成しても、あるいは、前記凹部の底面が前記非磁性中間層内に位置するように、前記凹部を形成してもよい。

【 0 0 5 9 】

前記凹部の底面が前記強磁性層内または前記非磁性中間層内に位置していると、前記第 2 の反強磁性層の下層にある強磁性層が、前記第 2 の反強磁性層との交換結合によって磁化方向が揃えられ、さらに、この強磁性層の下層に非磁性中間

層を介して形成されたフリー磁性層の磁化方向が、前記強磁性層との R K K Y 相互作用によって、前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向に揃えられる。すなわち、前記第 2 の反強磁性層の下層において前記強磁性層、前記非磁性中間層、及び前記フリー磁性層がシンセティックフェリ構造となっており、前記フリー磁性層の磁化方向を一定方向に揃えることが容易になっている。従って、前記第 2 の反強磁性層と前記強磁性層との交換結合磁界が比較的弱くても、前記フリー磁性層の磁化方向を確実に一定方向に揃えることが容易になる。

## 【 0 0 6 0 】

なお、前記フリー磁性層と前記強磁性層の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさは異なっている必要がある。前記フリー磁性層及び強磁性層の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさは、前記強磁性材料層の飽和磁化 ( $M_s$ ) と膜厚 ( $t$ ) の積で表される。

## 【 0 0 6 1 】

なお、前記 (e) 又は (j) の工程において、第 2 の熱処理温度を第 1 の反強磁性層のブロッキング温度より低い温度に設定し、第 2 の磁界の大きさを第 1 の反強磁性層の交換異方性磁界より小さくすることが好ましい。

## 【 0 0 6 2 】

あるいは、本発明では、前記 (f) または (k) の工程の代りに、

(1) 前記第 2 の反強磁性膜上に、トラック幅方向に間隔をあけて一対の電極層を積層し、前記第 2 の反強磁性層の前記一対の電極層によって挟まれた部位を削り込むことにより底面の幅寸法がトラック幅に等しい凹部を形成する工程を有してもよい。

## 【 0 0 6 3 】

また、前記固定磁性層を単位面積あたりの磁気モーメントの大きさが異なる複数の強磁性材料層が非磁性中間層を介して積層されたものとして形成されると、これら複数層の強磁性材料層が互いの磁化方向を固定しあい、全体として固定磁性層の磁化方向を一定方向に強力に固定することができる。すなわち、第 1 の反強磁性層と固定磁性層との交換結合磁界  $H_{ex}$  を、例えば  $80 \sim 160 \text{ kA/m}$  と、大きな値として得ることができる。従って、第 1 の反強磁性層によって固定

磁性層の磁化方向をハイト方向に向けるための磁場中アニールを行った後の、第2の反強磁性層によって強磁性層またはフリー磁性層の磁化方向をトラック幅方向に向けるための磁場中アニールによって、固定磁性層の磁化方向がトラック幅方向に傾いて固定されることを防ぎつつ、第2の反強磁性層による縦バイアス磁界を大きくすることができる。

## 【 0 0 6 4 】

また、固定磁性層の固定磁化による反磁界（双極子磁界）を、複数層の強磁性材料層の静磁界結合同士が相互に打ち消し合うことによりキャンセルできる。これにより、固定磁性層の固定磁化による反磁界（双極子磁界）からの、フリー磁性層の変動磁化への寄与を減少させることができる。

## 【 0 0 6 5 】

従って、フリー磁性層の変動磁化の方向を所望の方向に補正することがより容易になり、アシンメトリーの小さい対称性の優れたスピバルブ型磁気検出素子を得ることが可能になる。

## 【 0 0 6 6 】

ここで、アシンメトリーとは、再生出力波形の非対称性の度合いを示すものであり、再生出力波形が与えられた場合、波形が対称であればアシンメトリーが小さくなる。従って、アシンメトリーが0に近づく程再生出力波形が対称性に優れていることになる。

## 【 0 0 6 7 】

前記アシンメトリーは、フリー磁性層の変動磁化の方向と固定磁性層の固定磁化の方向とが直交しているときに0となる。アシンメトリーが大きくなるとメディアからの情報の読み取りが正確にできなくなり、エラーの原因となる。このため、前記アシンメトリーが小さいものほど、再生信号処理の信頼性が向上することになり、スピバルブ磁気検出素子として優れたものとなる。

## 【 0 0 6 8 】

また、固定磁性層の固定磁化による反磁界（双極子磁界） $H_d$ は、素子高さ方向において、その端部で大きく中央部で小さいという不均一な分布を持ち、フリー磁性層内における単磁区化が妨げられる場合があるが、固定磁性層を上記の積

層構造とすることにより双極子磁界  $H_d$  をほぼ  $H_d = 0$  とすることができ、これによってフリー磁性層内に磁壁ができて磁化の不均一が発生しバルクハウゼンノイズなどが発生することを防止することができる。

## 【0069】

なお、前記非磁性中間層を、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成することができる。

## 【0070】

ただし、本発明では、前記固定磁性層を単層の強磁性材料層として形成してもよい。

## 【0071】

本発明では、前記第1の反強磁性層と前記第2の反強磁性層を、同じ組成の反強磁性材料を用いて形成した場合でも、前記フリー磁性層の磁化方向を、前記固定磁性層の磁化方向と直交する方向に固定することが容易になる。

## 【0072】

前記第1の反強磁性層及び／又は前記第2の反強磁性層を、PtMn合金、または、 $X-Mn$ （ただしXは、Pd、Ir、Rh、Ru、Os、Ni、Feのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で、あるいは $Pt-Mn-X'$ （ただし $X'$ は、Pd、Ir、Rh、Ru、Au、Ag、Os、Cr、Ni、Ar、Ne、Xe、Krのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で形成することが好ましい。

## 【0073】

ここで、前記PtMn合金及び前記 $X-Mn$ の式で示される合金において、PtあるいはXが37～63at%の範囲であることが好ましい。また、前記PtMn合金及び前記 $X-Mn$ の式で示される合金において、PtあるいはXが47～57at%の範囲であることがより好ましい。特に規定しない限り、～で示す数値範囲の上限と下限は以下、以上を意味する。

## 【0074】

また、 $Pt-Mn-X'$ の式で示される合金において、 $X' + Pt$ が37～63at%の範囲であることが好ましい。また、前記 $Pt-Mn-X'$ の式で示さ



れる合金において、 $X' + Pt$  が 47～57 at % の範囲であることがより好ましい。さらに、前記  $Pt - Mn - X'$  の式で示される合金において、 $X'$  が 0.2～10 at % の範囲であることが好ましい。ただし、 $X'$  が Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Fe のいずれか 1 種または 2 種以上の元素である場合には、 $X'$  は 0.2～40 at % の範囲であることが好ましい。

## 【0075】

第 1 の反強磁性層及び第 2 の反強磁性層として、これらの適切な組成範囲の合金を使用し、これを熱処理することにより、強磁性層との界面で大きな交換結合磁界を発生する第 1 の反強磁性層及び第 2 の反強磁性層を得ることができる。特に、PtMn 合金であれば、48 kA/m 以上、例えば 64 kA/m を越える交換結合磁界を有し、前記交換結合磁界を失うブロッキング温度が 380℃ と極めて高い優れた第 1 の反強磁性層及び第 2 の反強磁性層を得ることができる。

## 【0076】

これらの合金は、成膜直後の状態では、不規則系の面心立方構造 (fcc) であるが、熱処理によって CuAuI 型の規則型の面心正方構造 (fct) に構造変態する。

## 【0077】

## 【発明の実施の形態】

図 1 から図 6 は、本発明の磁気検出素子の製造方法の第 1 の実施の形態を示す断面図である。各図において磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見ている。

## 【0078】

まず、基板 11 上に第 1 の反強磁性層 12 を積層する。さらに第 1 の固定磁性層 13a、非磁性中間層 13b、第 2 の固定磁性層 13c からなるシンセティックフェリピンド型の固定磁性層 13 が積層され、固定磁性層 13 の上層に非磁性材料層 14、フリー磁性層 15、非磁性中間層 16、強磁性層 17 及び保護層 18 が積層されて、多層膜 A が形成される。図 1 は、多層膜 A が形成された状態を示す断面図である。

## 【0079】

第1の反強磁性層12、固定磁性層13、非磁性材料層14、フリー磁性層15、非磁性中間層16、強磁性層17及び保護層18はスパッタ法や蒸着法などの薄膜形成プロセスによって、同一真空成膜装置内で形成される。

## 【0080】

第1の反強磁性層12は、PtMn合金、または、X-Mn（ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で、あるいはPt-Mn-X'（ただしX'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Krのいずれか1または2種以上の元素である）合金で形成する。

## 【0081】

第1の反強磁性層12として、これらの合金を使用し、これを熱処理することにより、大きな交換結合磁界を発生する第1の反強磁性層12及び固定磁性層13の交換結合膜を得ることができる。特に、PtMn合金であれば、48kA/m以上、例えば64kA/mを越える交換結合磁界を有し、前記交換結合磁界を失うブロッキング温度が380℃と極めて高い優れた第1の反強磁性層12及び固定磁性層13の交換結合膜を得ることができる。

## 【0082】

これらの合金は、成膜直後の状態では、不規則系の面心立方構造（fcc）であるが、熱処理によってCuAuI型の規則型の面心正方構造（fct）に構造変態する。

## 【0083】

第1の反強磁性層12の膜厚は、トラック幅方向の中心付近において80～300Åである。

## 【0084】

第1固定磁性層13a、第2固定磁性層13c、フリー磁性層15、及び強磁性層17は、強磁性材料により形成されるもので、例えばNiFe合金、Co、CoNiFe合金、CoFe合金、CoNi合金などにより形成されるものであり、特にNiFe合金、CoまたはCoFeにより形成されることが好ましい。また、第1固定磁性層13a及び第2固定磁性層13cは、同一の材料で形成さ

れることが好ましい。また、フリー磁性層 1 5 及び強磁性層 1 7 は、同一の材料で形成されることが好ましい。

## 【 0 0 8 5 】

また、非磁性中間層 1 3 b 及び非磁性中間層 1 6 は、非磁性材料により形成されるもので、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種またはこれらの2種以上の合金で形成されている。特にRuによって形成されることが好ましい。

## 【 0 0 8 6 】

非磁性材料層 1 4 は、固定磁性層 1 3 とフリー磁性層 1 5 との磁気的な結合を防止し、またセンス電流が主に流れる層であり、Cu、Cr、Au、Agなど導電性を有する非磁性材料により形成されることが好ましい。特にCuによって形成されることが好ましい。

## 【 0 0 8 7 】

なお、保護層 1 8 は、多層膜 A を磁場中アニールにかけるときに、強磁性層 1 7 が酸化することを防ぐ機能を有するものであり、Ta などからなる。

## 【 0 0 8 8 】

次に、図 1 の多層膜 A を第 1 の熱処理温度、Y 方向を向いた第 1 の大きさの磁界中で、第 1 の磁場中アニールを行い、第 1 の反強磁性層 1 2 と第 1 の固定磁性層 1 3 a との間に交換異方性磁界を発生させ、固定磁性層 1 3 の磁化方向を図示 Y 方向に固定する。本実施の形態では、前記第 1 の熱処理温度を 2 7 0 °C、磁界の第 1 の大きさを 8 0 0 k (A/m) としている。

## 【 0 0 8 9 】

多層膜 A を第 1 の磁場中アニールにかけたときに、保護層 1 8 は、その表面から 1 0 ~ 2.0 Å 程度酸化する。そこで、保護層 1 8 をイオンミリングまたは反応性イオンエッチング (RIE) によって除去する。

## 【 0 0 9 0 】

さらに、強磁性層 1 7 を所定の厚さ削る。強磁性層 1 7 を削るのは、次の工程において、強磁性層 1 7 上に第 2 の反強磁性層 1 9 を積層するとき、強磁性層 1 7 上に第 2 の反強磁性層 1 9 を真空中で連続成膜することが必要なためである。強磁性層 1 7 の削り量  $t_1$  は特に規定されないが、本実施の形態では、1.0 Å

削っている。

【0091】

次に、図3に示すごとく、図2に示された強磁性層17の研削後の表面17a上に、強磁性層17を再成膜し、さらに強磁性層17上に第2の反強磁性層19を連続成膜する。強磁性層17を再成膜するときには、図1の工程において最初に強磁性層17を成膜したときに用いた強磁性材料と同じ強磁性材料を用いる。ただし、強磁性層17の図2の工程において削られた厚さ $t_1$ と、図3の工程において再成膜する分の強磁性層17の厚さは必ずしも同じでなくてよい。

【0092】

第2の反強磁性層19は、第1の反強磁性層12と同様に、PtMn合金、または、X-Mn（ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で、あるいはPt-Mn-X'（ただしX'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Krのいずれか1または2種以上の元素である）合金で形成する。

【0093】

第2の反強磁性層19の膜厚は、トラック幅方向の中心付近において80～300Å、例えば200Åである。

【0094】

ここで、第1の反強磁性層12及び第2の反強磁性層19を形成するための、前記PtMn合金及び前記X-Mnの式で示される合金において、PtあるいはXが37～63at%の範囲であることが好ましい。また、前記PtMn合金及び前記X-Mnの式で示される合金において、PtあるいはXが47～57at%の範囲であることがより好ましい。特に規定しない限り、～で示す数値範囲の上限と下限は以下、以上を意味する。

【0095】

また、Pt-Mn-X'の式で示される合金において、X'+Ptが37～63at%の範囲であることが好ましい。また、前記Pt-Mn-X'の式で示される合金において、X'+Ptが47～57at%の範囲であることがより好ま

しい。さらに、前記  $Pt-Mn-X'$  の式で示される合金において、 $X'$  が 0.2~10 at % の範囲であることが好ましい。ただし、 $X'$  が Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Fe のいずれか 1 種または 2 種以上の元素である場合には、 $X'$  は 0.2~40 at % の範囲であることが好ましい。

## 【0096】

第 1 の反強磁性層及び第 2 の反強磁性層として、これらの適切な組成範囲の合金を使用し、これを熱処理することにより、大きな交換結合磁界を発生することのできる第 1 の反強磁性層及び第 2 の反強磁性層を得ることができる。特に、PtMn 合金であれば、強磁性層との間に 48 kA/m 以上、例えば 64 kA/m を越える交換結合磁界を有し、前記交換結合磁界を失うブロッキング温度が 380℃ と極めて高い優れた第 1 の反強磁性層及び第 2 の反強磁性層を得ることができる。

## 【0097】

これらの合金は、成膜直後の状態では、不規則系の面心立方構造 (fcc) であるが、熱処理によって CuAuI 型の規則型の面心正方構造 (fct) に構造変態する。

## 【0098】

なお、本実施の形態の磁気検出素子は、第 1 の反強磁性層 12 と第 2 の反強磁性層 19 を同じ組成の反強磁性材料を用いて形成することができる。

## 【0099】

また、第 2 の反強磁性層 19 の上層に Ta などの非磁性材料からなる保護層を成膜してもよい。

## 【0100】

次に第 2 の反強磁性層 19 まで形成された多層膜 B を、第 2 の熱処理温度、 $X$  方向を向いた第 2 の大きさの磁界中で、第 2 の磁場中アニールにかけて、第 2 の反強磁性層 19 と強磁性層 17 との間に交換異方性磁界を発生させ、強磁性層 17 の磁化方向を図示  $X$  方向に固定する。本実施の形態では、前記第 2 の熱処理温度を 250℃、磁界の第 2 の大きさを 24 k (A/m) としている。

## 【0101】

第2の反強磁性層19による交換異方性磁界は、第2の磁場中アニール工程において始めて生じる。従って、第1の反強磁性層12と第1の固定磁性層13aとの間の交換異方性磁界の方向を図示Y方向に向けたまま、第2の反強磁性層19による交換異方性磁界を図示X方向に向けるためには、前記第2の熱処理温度を、第1の反強磁性層12による交換結合磁界が消失するブロッキング温度より低い温度に設定し、前記第2の磁界の大きさを第1の反強磁性層12による交換異方性磁界より小さくするだけでよい。また、第2の磁場中アニールをこれらの条件下で行えば、第1の反強磁性層12と第2の反強磁性層19を同じ組成の反強磁性材料を用いて形成しても、第1の反強磁性層12による交換異方性磁界の方向を図示Y方向に向けたまま、第2の反強磁性層19による交換異方性磁界を図示X方向に向けることができる。すなわち、フリー磁性層15の磁化方向を、固定磁性層13の磁化方向と直交する方向に固定することが容易になる。

#### 【0102】

次に、図4に示すように、第2の反強磁性層19上にレジスト20、20を積層し、第2の反強磁性層19上をトラック幅Twの間隔を開けてマスキングする。

#### 【0103】

さらに、図5に示すように、第2の反強磁性層19のレジスト20、20によってマスクされない部分を、イオンミリングまたは反応性イオンエッチング（RIE）などによって、基板11の表面11aに対する垂直方向、すなわちトラック幅方向（図示X方向）に対する垂直方向に削り込むことにより凹部21を形成する。凹部21の側面21a、21aは、トラック幅方向に対して垂直になっている。図5では、凹部21の底面21bが第2の反強磁性層19内に位置するように、凹部21を形成している。

#### 【0104】

このとき、凹部21の底面21bの下部に位置する第2の反強磁性層19の領域の厚さt2を0より大きく30Å以下にする。

#### 【0105】

本実施の形態のように、凹部21の底面21bの下部に位置する第2の反強磁

性層 1 9 の領域の厚さ  $t_2$  を 0 より大きく 3 0 Å 以下にすると、凹部 2 1 の底面 2 1 b に位置する第 2 の反強磁性層 1 9 の領域では、第 2 の磁場中アニールによって不規則－規則変態が生じず、強磁性層 1 7 との間に交換結合磁界が発生しない。

## 【 0 1 0 6 】

第 2 の反強磁性層 1 9 はトラック幅領域から外れた全領域において、反強磁性を発生するために十分な膜厚を有し、トラック幅領域から外れた全領域（トラック幅方向両端部 D, D）において強磁性層 1 7 及びフリー磁性層 1 5 の磁化方向を確実に固定することができる。すなわち、強磁性層 1 7 の磁化方向は、凹部 2 1 の底面 2 1 b に重なる領域以外のトラック幅方向両端部 D, D でのみ、第 2 の反強磁性層 1 9 との交換結合によって固定される。従って、強磁性層 1 7 の下層に非磁性中間層 1 6 を介して積層されているフリー磁性層 1 5 の磁化方向も、トラック幅方向両端部 D, D でのみ強磁性層 1 7 との R K K Y 相互作用により固定される。

## 【 0 1 0 7 】

凹部 2 1 の底面 2 1 b に重なるフリー磁性層 1 5 の領域 E は、外部磁界が印加されない状態において、磁化方向が固定された両端部 D, D にならって図示 X 方向に揃えられ、外部磁界が印加されるとその磁化方向が変化する。

## 【 0 1 0 8 】

従って、磁気検出素子のトラック幅は、前記凹部の幅寸法  $T_w$  によって決定され、しかも、トラック幅  $T_w$  から外れた領域で記録信号を読み取ってしまうサイドリーディングを防止することができる。上述したように、本発明では、凹部 2 1 は一様の厚さで成膜された第 2 の反強磁性層 1 9 を、反応性イオンエッチング（R I E）やイオンミリングを用いて、基板 1 1 の表面 1 1 a に対する垂直方向に削るだけで形成することができるので、正確な幅寸法  $T_w$  で凹部 2 1 を形成することが可能になる。すなわち、磁気検出素子のトラック幅  $T_w$  を正確に規定できる。

## 【 0 1 0 9 】

凹部 2 1 の形成後、図 6 に示すように凹部 2 1 の幅寸法（＝トラック幅  $T_w$ ）

より広い幅寸法の領域を覆うリフトオフ用のレジスト 2 5 を第 2 の反強磁性層 1 9 上に形成し、第 2 の反強磁性層 1 9 上であって、レジスト 2 5 によって覆われていない領域に電極層 2 2, 2 2 をスパッタ法や蒸着法によって成膜する。電極層 2 2, 2 2 は、例えば、Au、W、Cr、Ta などを用いて成膜される。電極層 2 2, 2 2 の成膜後、レジスト層 2 5 を除去して図 7 に示されるような磁気検出素子を得る。

## 【0 1 1 0】

本実施の形態の製造方法によって形成された磁気検出素子は電極層 2 2, 2 2 と凹部 2 1 との間にトラック幅方向の段差ができる。なお、第 2 の反強磁性層 1 9 上に前述した Ta, Cr などからなる保護層を介して電極層 2 2, 2 2 が積層されてもよい。

## 【0 1 1 1】

なお、上記説明では第 2 の反強磁性層 1 9 の上層にレジスト 2 0, 2 0 を積層して、第 2 の反強磁性層 1 9 に凹部を形成した後、第 2 の反強磁性層 1 9 の上層に電極層 2 2, 2 2 を積層したが、第 2 の反強磁性層 1 9 の上層に電極層 2 2 を成膜した後、電極層 2 2 上にトラック幅方向にトラック幅寸法の間隔を開けて一対のレジストを積層して、電極層 2 2 及び第 2 の反強磁性層 1 9 に凹部を形成してもよい。

## 【0 1 1 2】

また、前記第 2 の磁場中アニールは、第 2 の反強磁性層 1 9 に凹部 2 1 を形成した後行ってもよい。

## 【0 1 1 3】

また、本実施の形態では、基板 1 1 上に直接第 1 の反強磁性層 1 2 が積層されているが、基板 1 1 上にアルミナ層及び Ta 等からなる下地層を介して反強磁性層 1 2 が積層されてもよい。

## 【0 1 1 4】

なお、多層膜 A を形成するときに、フリー磁性層 1 5 と非磁性材料層 1 4 の間に、Co などからなる拡散防止層が形成されていてもよい。この拡散防止層はフリー磁性層 1 5 と非磁性材料層 1 4 の相互拡散を防止する。又、第 2 固定磁性層



13cと非磁性材料層14の間に、Coなどからなる拡散防止層が形成されていてもよい。この拡散防止層は第2固定磁性層13cと非磁性材料層14の相互拡散を防止する。

## 【0115】

また、フリー磁性層15及び強磁性層17は、それぞれの単位面積あたりの磁気モーメントが異なるように形成されている。単位面積あたりの磁気モーメントは、飽和磁化( $M_s$ )と膜厚( $t$ )の積で表される。従って、例えば、フリー磁性層15及び強磁性層17を同じ材料を用いて形成し、さらに、それぞれの膜厚を異ならせることにより、フリー磁性層15及び強磁性層17の単位面積あたりの磁気モーメントを異ならせることができる。

## 【0116】

なお、フリー磁性層15と非磁性材料層14の間に、Coなどからなる拡散防止層が形成される場合には、フリー磁性層15の磁気モーメントと前記拡散防止層の単位面積あたりの磁気モーメントの和と、強磁性層17の単位面積あたりの磁気モーメントを異ならせることが好ましい。

## 【0117】

図7は、上述した本発明の実施の形態の製造方法によって製造された磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図である。

## 【0118】

図7の磁気検出素子では、凹部21の底面21bが縦バイアス層となる第2の反強磁性層19内に位置している。従って、フリー磁性層15と強磁性層17が、非磁性中間層16を介して隣接し、フリー磁性層15の磁化方向と強磁性層17の磁化方向が反平行となるフェリ磁性状態となる。このとき、フリー磁性層15、非磁性中間層16及び強磁性層17からなる多層膜がひとつのフリー磁性層、すなわちシンセティックフェリフリー磁性層Fとして機能する。シンセティックフェリフリー磁性層Fでは、フリー磁性層15の膜厚を薄くして、フリー磁性層15の磁化を変動しやすくすることと同等の効果が得られ、磁気抵抗効果素子の磁界検出感度が向上する。

## 【0119】

フリー磁性層 1 5 の磁気モーメントと強磁性層 1 7 の磁気モーメントを足し合わせた合成磁気モーメントの方向がシンセティックフェリフリー磁性層 F の磁化方向となる。

#### 【 0 1 2 0 】

ただし、固定磁性層 1 3 の磁化方向との関係で出力に寄与するのはフリー磁性層 1 5 の磁化方向のみである。

#### 【 0 1 2 1 】

また、フリー磁性層と強磁性層の磁氣的膜厚の関係が異ならされていると、シンセティックフェリフリー磁性層 F のスピントロップ磁界を大きくできる。

#### 【 0 1 2 2 】

スピントロップ磁界とは、磁化方向が反平行である 2 つの磁性層に対し、外部磁界を印加したときに、2 つの磁性層の磁化方向が反平行でなくなる外部磁界の大きさを差す。

#### 【 0 1 2 3 】

図 2 8 は、シンセティックフェリフリー磁性層 F の M-H 曲線の模式図である。この M-H 曲線は、シンセティックフェリフリー磁性層 F に対してトラック幅方向から外部磁界を印加したときの、シンセティックフェリフリー磁性層 F の磁化 M の変化を示したものである。なお、以下の説明中では、フリー磁性層 1 5 を第 1 フリー磁性層、強磁性層 1 7 を第 2 フリー磁性層、シンセティックフェリフリー磁性層 F を単にフリー磁性層と呼ぶことにする。

#### 【 0 1 2 4 】

また、図 2 8 中、F 1 で示す矢印は、第 1 フリー磁性層の磁化方向を表わし、F 2 で示す矢印は、第 2 フリー磁性層の磁化方向を表わす。

#### 【 0 1 2 5 】

図 2 8 に示すように、外部磁界が小さいときは、第 1 フリー磁性層と第 2 フリー磁性層がフェリ磁性状態、すなわち矢印 F 1 及び F 2 の方向が反平行になっているが、外部磁界 H の大きさがある値を越えると、第 1 フリー磁性層と第 2 フリー磁性層の R K K Y 結合が壊され、フェリ磁性状態を保てなくなる。これが、スピントロップ転移である。またこのスピントロップ転移が起きるときの外部磁界

の大きさがスピントロップ磁界であり、図 2 8 では  $H_{sf}$  で示している。なお、図中  $H_{cf}$  は、フリー磁性層の磁化の保磁力を示している。

## 【0 1 2 6】

第 1 フリー磁性層及び第 2 フリー磁性層の、それぞれの単位面積あたりの磁気モーメントが異なるように形成されているとフリー磁性層のスピントロップ磁界  $H_{sf}$  が大きくなる。これにより、フリー磁性層がフェリ磁性状態を保つ磁界の範囲が広くなり、フリー磁性層のフェリ磁性状態の安定度が増す。

## 【0 1 2 7】

なお、強磁性層 1 7 の厚さ  $t_{f2}$  は 0.5 ~ 2.5 nm の範囲であることが好ましい。また、フリー磁性層 1 5 の厚さ  $t_{f1}$  は 2.5 ~ 4.5 nm の範囲であることが好ましい。なお、フリー磁性層 1 5 の厚さ  $t_{f1}$  が 3.0 ~ 4.0 nm の範囲であることがより好ましく、さらに好ましくは 3.5 ~ 4.0 nm の範囲であることである。フリー磁性層 1 5 の厚さ  $t_{f1}$  が前記の範囲を外れると、スピントロップ型磁気検出素子の磁気抵抗変化率を大きくすることができなくなるので好ましくない。

## 【0 1 2 8】

図 7 の磁気検出素子では、縦バイアス層である第 2 の反強磁性層 1 9 はトラック幅領域から外れた全領域（トラック幅方向両端部 D, D）において反強磁性を発生するために十分な膜厚を有し、トラック幅領域から外れた全領域において強磁性層 1 7 及びフリー磁性層 1 5 の磁化方向を確実に固定することができる。

## 【0 1 2 9】

凹部 2 1 の底面 2 1 b に重なるフリー磁性層 1 5 及び強磁性層 1 7 の領域 E は、外部磁界が印加されない状態において、磁化方向が固定された両端部 D, D になって図示 X 方向に揃えられ、外部磁界が印加されるとその磁化方向が変化する。

## 【0 1 3 0】

従って、磁気検出素子のトラック幅は、凹部 2 1 の幅寸法  $T_w$  によって決定され、しかも、トラック幅  $T_w$  から外れた領域で記録信号を読み取ってしまうサイドリーディングを防止することができる。

## 【 0 1 3 1 】

また、第 2 の反強磁性層 1 9 との反強磁性結合は凹部 2 1 の底面 2 1 b に重ならないトラック幅方向両端部 D、D にのみ働き、凹部 2 1 の底面 2 1 b に重なる領域 E には作用しない。

## 【 0 1 3 2 】

従って、第 2 の反強磁性層 1 9 に形成された凹部 2 1 の幅寸法として設定されたトラック幅（光学的トラック幅） $T_w$  の領域が、実質的に記録磁界の再生に寄与し、磁気抵抗効果を発揮する感度領域となり、磁気検出素子の形成時に設定されたトラック幅（光学的トラック幅） $T_w$  の領域に不感領域が生じないので、高記録密度化に対応するために磁気検出素子の光学的トラック幅  $T_w$  を小さくしていった場合の再生出力の低下を抑えることができる。

## 【 0 1 3 3 】

さらに、本実施の形態では磁気検出素子の側端面 S、S がトラック幅方向に対して垂直となるように形成されることが可能なので、フリー磁性層 1 5 のトラック幅方向長さのバラつきを抑えることができる。

## 【 0 1 3 4 】

また、図 1 の工程において前記第 1 固定磁性層 1 3 a と前記第 2 固定磁性層 1 3 c を単位面積あたりの磁気モーメントが異なるものとして形成している。従って、前記第 1 固定磁性層 1 3 a と前記第 2 固定磁性層 1 3 c を、前記非磁性中間層 1 3 b を介して積層されたものが、一つの固定磁性層 1 3 として機能する。

## 【 0 1 3 5 】

第 1 固定磁性層 1 3 a は反強磁性層 1 2 と接して形成され、磁場中アニールが施されることにより、第 1 固定磁性層 1 3 a と反強磁性層 1 2 との界面にて交換結合による交換異方性磁界が生じ、第 1 固定磁性層 1 3 a の磁化方向が図示 Y 方向に固定される。第 1 固定磁性層 1 3 a の磁化方向が図示 Y 方向に固定されると、非磁性中間層 1 3 b を介して対向する第 2 固定磁性層 1 3 c の磁化方向が、第 1 固定磁性層 1 3 a の磁化方向と反平行の状態に固定される。

## 【 0 1 3 6 】

なお、第 1 固定磁性層 1 3 a の磁気モーメントと第 2 固定磁性層 1 3 c の磁気

モーメントを足し合わせた合成磁気モーメントの方向が固定磁性層 1 3 の磁化方向となる。

## 【 0 1 3 7 】

このように、第 1 固定磁性層 1 3 a と第 2 固定磁性層 1 3 c の磁化方向は、反平行となるフェリ磁性状態になっており、第 1 固定磁性層 1 3 a と第 2 固定磁性層 1 3 c とが互いに他方の磁化方向を固定しあうので、全体として固定磁性層 1 3 の磁化方向を一定方向に安定させることができるので好ましい。

## 【 0 1 3 8 】

第 1 固定磁性層 1 3 a 及び第 2 固定磁性層 1 3 c は、強磁性材料により形成されるもので、例えば Ni Fe 合金、Co、Co Ni Fe 合金、Co Fe 合金、Co Ni 合金などにより形成されるものであり、特に Ni Fe 合金または Co により形成されることが好ましい。また、第 1 固定磁性層 1 3 a 及び第 2 固定磁性層 1 3 c は同一の材料で形成されることが好ましい。

## 【 0 1 3 9 】

図 7 では、前記第 1 固定磁性層 1 3 a 及び前記第 2 固定磁性層 1 3 c を同じ材料を用いて形成し、さらに、それぞれの膜厚を異ならせることにより、それぞれの単位面積あたりの磁気モーメントを異ならせている。

## 【 0 1 4 0 】

また、非磁性中間層 1 3 b は、非磁性材料により形成されるもので、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cu のうち 1 種またはこれらの 2 種以上の合金で形成されている。特に Ru によって形成されることが好ましい。

## 【 0 1 4 1 】

固定磁性層 1 3 が非磁性中間層 1 3 b の上下に第 1 固定磁性層 1 3 a 及び第 2 固定磁性層 1 3 c が積層されたものとして形成されると、第 1 固定磁性層 1 3 a 及び第 2 固定磁性層 1 3 c が互いの磁化方向を固定しあい、全体として固定磁性層 1 3 の磁化方向を一定方向に強力に固定することができる。すなわち、第 1 の反強磁性層 1 2 と固定磁性層 1 3 との交換結合磁界  $H_{ex}$  を例えば  $80 \sim 160 \text{ kA/m}$  と、大きな値として得ることができる。従って、第 1 の反強磁性層 1 2 に接する第 1 の固定磁性層 1 3 a の磁化方向をハイト方向に向けるための第 1 の

磁場中アニールを行った後の、トラック幅方向の磁界中の第2の磁場中アニールによって、固定磁性層13の磁化方向がトラック幅方向に傾いて固定されることを防ぎつつ、第2の反強磁性層19による縦バイアス磁界を大きくすることができる。

## 【0142】

また、本実施の形態では、固定磁性層13の固定磁化による反磁界（双極子磁界）を、第1の固定磁性層13a及び第2の固定磁性層13cの静磁界結合同士が相互に打ち消し合うことによりキャンセルできる。これにより、固定磁性層13の固定磁化による反磁界（双極子磁界）からの、フリー磁性層15の変動磁化への寄与を減少させることができる。

## 【0143】

従って、フリー磁性層15の変動磁化の方向を所望の方向に補正することがより容易になり、アシンメトリーの小さい対称性の優れたスピバルブ型磁気検出素子を得ることが可能になる。

## 【0144】

また、固定磁性層13の固定磁化による反磁界（双極子磁界） $H_d$ は、素子高さ方向において、その端部で大きく中央部で小さいという不均一な分布を持ち、フリー磁性層15内における単磁区化が妨げられる場合があるが、固定磁性層13を上記の積層構造とすることにより双極子磁界 $H_d$ をほぼ $H_d = 0$ とすることができ、これによってフリー磁性層15内に磁壁ができて磁化の不均一が発生しバルクハウゼンノイズなどが発生することを防止することができる。

## 【0145】

このスピバルブ型磁気検出素子においては、電極層22、22からシンセティックフェリフリー磁性層F、非磁性材料層14、固定磁性層13に定常電流が与えられ、図示Z方向に走行する磁気記録媒体からの漏れ磁界が図示Y方向に与えられると、シンセティックフェリフリー磁性層Fのうちフリー磁性層15の磁化方向が図示X方向から図示Y方向に向けて変動する。この第1のフリー磁性層15内での磁化方向の変動と第2の固定磁性層13cの磁化方向との関係で電気抵抗が変化し、この抵抗変化に基づく電圧変化により磁気記録媒体からの漏れ磁

界が検出される。

【0146】

なお、図5に示された工程において凹部21を形成するときに、凹部21の底面21bが第2の反強磁性層19内に位置するようにしたが、この底面21bが強磁性層17内に位置するように凹部を形成して、図8に示される磁気検出素子を得ることもできる。

【0147】

図8の磁気検出素子では、トラック幅Twの領域内において第2の反強磁性層19を除去しているので、第2の反強磁性層19の厚みにばらつきがある場合でも、凹部21の底面21bに第2の反強磁性層19が残ることがないため、トラック幅Twを精度よく画定でき、高記録密度化に対応可能なスピナルブ型磁気検出素子を得ることができる。また、第2の反強磁性層19を完全に除去することは簡単であるため、容易に製造することができる。

【0148】

または、底面21bが非磁性中間層16内に位置するように凹部21を形成して、図9に示される磁気検出素子を得ることもできる。

【0149】

図9に示される磁気検出素子では、強磁性層17が、第2の反強磁性層19との磁氣的結合（交換結合）によって磁化方向がトラック幅方向（図示X方向）に固定され、さらに、この強磁性層17の下層に非磁性中間層16を介して形成されたフリー磁性層15の磁化方向も、強磁性層17とのRKKY相互作用によって、トラック幅方向（図示X方向）に揃えられる。すなわち、第2の反強磁性層19の下層の領域（トラック幅方向両端部D、D）において強磁性層17、非磁性中間層16、及びフリー磁性層15がシンセティックフェリ構造となっており、フリー磁性層15の磁化方向をトラック幅方向に揃えることが容易になっている。

【0150】

従って、第2の反強磁性層19と強磁性層17との交換結合磁界が比較的弱くても、フリー磁性層15の磁化方向を確実に固定磁性層13の磁化方向と交叉す

る方向に揃えることが容易になる。

【0151】

また、図9に示される磁気検出素子では、非磁性中間層16はトラック幅 $T_w$ の領域内において、フリー磁性層15の保護層として機能する。また、非磁性中間層16を、導電性を有する材料を用いて形成することにより、スピンスピンフィルター効果を有するバックド層 (backed layer) として機能させることが可能になる。

【0152】

スピンスピンフィルター効果について説明する。図29及び図30はスピンスピンバルブ型磁気検出素子においてバックド層によるスピンスピンフィルター効果を説明するための模式説明図であり、図29はバックド層がない構造例を示す模式図であり、図30はバックド層のある構造例を示す模式図である。

【0153】

巨大磁気抵抗GMR効果は、主として電子の「スピンに依存した散乱」によるものである。つまり磁性材料、ここではフリー磁性層の磁化方向に平行なスピン（例えばアップスピン）を持つ伝導電子の平均自由行程 $\lambda_+$ と、磁化方向に逆平行なスピン（例えばダウンスピン）を持つ伝導電子の平均自由行程 $\lambda_-$ の差を利用したものである。図29及び図30では、アップスピンを持つ伝導電子を上向き矢印で表わし、ダウンスピンを持つ伝導電子を下向き矢印で表わしている。電子がフリー磁性層を通り抜けようとするときに、この電子がフリー磁性層の磁化方向に平行なアップスピンを持てば自由に移動できるが、反対にダウンスピンを持ったときには直ちに散乱されてしまう。

【0154】

これは、アップスピンを持つ電子の平均自由行程 $\lambda_+$ が、例えば、50オングストローム程度であるのに対して、ダウンスピンを持つ電子の平均自由行程 $\lambda_-$ が6オングストローム程度であり、10分の1程度と極端に小さいためである。フリー磁性層115の膜厚は、6オングストローム程度であるダウンスピンを持つ電子の平均自由行程 $\lambda_-$ よりも大きく、50オングストローム程度であるアップスピンを持つ電子の平均自由行程 $\lambda_+$ よりも小さく設定されている。



## 【0155】

従って、電子がフリー磁性層 115 を通り抜けようとするときに、この電子がフリー磁性層 115 の磁化方向に平行なアップスピンを持てば自由に移動できるが、反対にダウンスピンを持ったときには直ちに散乱されてしまう（フィルタアウトされる）。

## 【0156】

固定磁性層 113 で発生し、非磁性材料層 114 を通過するダウンスピン電子は、フリー磁性層 115 と非磁性材料層 114 との界面付近で散乱され、フリー磁性層 115 にはほとんど到達しない。つまり、このダウンスピン電子は、フリー磁性層 115 の磁化方向が回転しても平均自由行程に変化はなく、GMR 効果による抵抗変化率に影響しない。従って GMR 効果にはアップスピン電子の挙動のみを考えればよい。

## 【0157】

固定磁性層 115 で発生したアップスピン電子はこのアップスピン電子の平均自由行程  $\lambda$  + より薄い厚さの非磁性材料層 114 中を移動し、フリー磁性層 115 に到達し、アップスピン電子はフリー磁性層 115 内を自由に通過できる。これは、アップスピン電子がフリー磁性層 115 の磁化方向に平行なスピンを持っているためである。

## 【0158】

固定磁性層の磁化方向とフリー磁性層の磁化方向が反平行となる状態では、アップスピン電子はフリー磁性層 115 の磁化方向に平行なスピンを持った電子でなくなる。すると、アップスピン電子は、フリー磁性層 115 と非磁性材料層 114 との界面付近で散乱されることになり、アップスピン電子の有効平均自由行程が急激に減少する。すなわち、抵抗値が増大する。抵抗変化率は、アップスピン電子の有効平均自由行程の変化量と正の相関関係を有する。

## 【0159】

図 30 に示すように、バックド層 B s が設けられている場合には、フリー磁性層 115 を通過したアップスピン電子はバックド層 B s において、このバックド層 B s の材料で決定される追加平均自由行程  $\lambda + b$  を移動した後散乱する。すな

わち、バックド層 B s を設けたことにより、アップスピン電子の平均自由行程  $\lambda$  + が追加平均自由行程  $\lambda + b$  分だけ延びる。

## 【0160】

バックド層として機能する非磁性中間層 16 を有する本実施の形態では、アップスピンの伝導電子の平均自由行程を伸ばすことができる。このため、外部磁界の印加によるアップスピン電子の平均自由行程の変化量が大きくなって、スピンバルブ型磁気検出素子の磁気抵抗変化率 ( $\Delta R/R$ ) をより向上させることができる。

## 【0161】

図 10 から図 14 は、本発明の磁気検出素子の製造方法の実施の形態を示す断面図である。各図において磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見ている。

## 【0162】

まず、基板 11 上に第 1 の反強磁性層 12 を積層する。さらに第 1 の固定磁性層 13 a、非磁性中間層 13 b、第 2 の固定磁性層 13 c からなるシンセティックフェリピンド型の固定磁性層 13 が積層され、固定磁性層 13 の上層に非磁性材料層 14、フリー磁性層 15、非磁性中間層 16、強磁性層 17、非磁性層 30、及び他の反強磁性層 31 が積層されて、多層膜 A1 が形成される。図 10 は、多層膜 A1 が形成された状態を示す断面図である。

## 【0163】

第 1 の反強磁性層 12、固定磁性層 13、非磁性材料層 14、フリー磁性層 15、非磁性中間層 16、強磁性層 17、非磁性層 30、及び他の反強磁性層 31 はスパッタ法や蒸着法などの薄膜形成プロセスによって、同一真空成膜装置内で形成される。

## 【0164】

第 1 の反強磁性層 12 及び他の反強磁性層 31 は、PtMn 合金、または、X-Mn (ただし X は、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Fe のいずれか 1 種または 2 種以上の元素である) 合金で、あるいは Pt-Mn-X' (ただし X' は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Kr のいずれか 1 または 2 種以上の元素である) 合金で形成する。

## 【0165】

第1の反強磁性層12及び他の反強磁性層31として、これらの合金を使用し、これを熱処理することにより、大きな交換結合磁界を発生する第1の反強磁性層12及び他の反強磁性層31を得ることができる。特に、PtMn合金であれば、48 kA/m以上、例えば64 kA/mを越える交換結合磁界を発生させ、前記交換結合磁界を失うブロッキング温度が380℃と極めて高い優れた第1の反強磁性層12及び他の反強磁性層31を得ることができる。

## 【0166】

これらの合金は、成膜直後の状態では、不規則系の面心立方構造(fcc)であるが、熱処理によってCuAuI型の規則型の面心正方構造(fct)に構造変態する。

## 【0167】

第1の反強磁性層12の膜厚は、トラック幅方向の中心付近において80～300 Åである。なお、他の反強磁性層31の膜厚は、約30 Åであり、他の反強磁性層31の膜厚がこの厚さであると、熱処理を施しても、交換結合磁界は発生しない。

## 【0168】

第1固定磁性層13a及び第2固定磁性層13cは、強磁性材料により形成されるもので、例えばNiFe合金、Co、CoNiFe合金、CoFe合金、CoNi合金などにより形成されるものであり、特にNiFe合金またはCoにより形成されることが好ましい。また、第1固定磁性層13a及び第2固定磁性層13cは同一の材料で形成されることが好ましい。

## 【0169】

また、非磁性中間層13bは、非磁性材料により形成されるもので、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種またはこれらの2種以上の合金で形成されている。特にRuによって形成されることが好ましい。

## 【0170】

非磁性材料層14は、固定磁性層13とフリー磁性層15との磁気的な結合を防止し、またセンス電流が主に流れる層であり、Cu、Cr、Au、Agなど導

電性を有する非磁性材料により形成されることが好ましい。特にCuによって形成されることが好ましい。

## 【0171】

フリー磁性層15及び強磁性層17は、強磁性材料により形成されるもので、例えばNiFe合金、Co、CoNiFe合金、CoFe合金、CoNi合金などにより形成されるものであり、特にNiFe合金またはCoにより形成されることが好ましい。フリー磁性層15及び強磁性層17は、同一の材料で形成されることが好ましい。

## 【0172】

非磁性層30は、Ruによって形成され、膜厚は8～11Åである。また、非磁性層は、Ru, Cu, Ag, Auのうち1種または2種以上の元素を用いて形成することもできる。

## 【0173】

次に、図10の多層膜A1を第1の熱処理温度、Y方向を向いた第1の大きさの磁界中で、第1の磁場中アニールを行い、第1の反強磁性層12に交換異方性磁界を発生させ、固定磁性層13の磁化方向を図示Y方向に固定する。本実施の形態では、前記第1の熱処理温度を270℃、磁界の第1の大きさを800k (A/m)としている。

## 【0174】

ここで、他の反強磁性層31の膜厚は30Åである。他の反強磁性層31の膜厚が30Å以下であると、他の反強磁性層31を磁場中アニールにかけても不規則構造から規則構造への変態が生じず、交換異方性磁界が発生しない。従って、多層膜A1を第1の磁場中アニールにかけたときに、他の反強磁性層31には交換異方性磁界が発生せず、強磁性層17及びフリー磁性層15の磁化方向が図示Y方向に固定されることはない。

## 【0175】

多層膜A1を第1の磁場中アニールにかけたときに、他の反強磁性層31は、その表面から10～20Å程度酸化する。そこで、多層膜A1の状態での他の反強磁性層31の表面をイオンミリングによって20Å程削り、酸化した部分を除去

する。このように、本実施の形態では、多層膜A1の最上層に他の反強磁性層31が積層されているので、非磁性層30及び強磁性層17の酸化を防ぐことができる。ただし、非磁性層30上に他の反強磁性層31を積層せずに第1の磁場中アニールをかけ、非磁性層30の酸化した部分をイオンミリングによって削ってもよい。

## 【0176】

次に、図11に示すごとく、多層膜A1上に、第2の反強磁性層32を成膜する。

## 【0177】

第2の反強磁性層32は、第1の反強磁性層12と同様に、PtMn合金、または、X-Mn（ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で、あるいはPt-Mn-X'（ただしX'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Krのいずれか1または2種以上の元素である）合金で形成する。

## 【0178】

第2の反強磁性層32の膜厚は、トラック幅方向の中心付近において80～300Å、例えば200Åである。

## 【0179】

ここで、第2の反強磁性層32を形成するための、前記PtMn合金及び前記X-Mnの式で示される合金において、PtあるいはXが37～63at%の範囲であることが好ましい。また、前記PtMn合金及び前記X-Mnの式で示される合金において、PtあるいはXが47～57at%の範囲であることがより好ましい。特に規定しない限り、～で示す数値範囲の上限と下限は以下、以上を意味する。

## 【0180】

また、Pt-Mn-X'の式で示される合金において、X'+Ptが37～63at%の範囲であることが好ましい。また、前記Pt-Mn-X'の式で示される合金において、X'+Ptが47～57at%の範囲であることがより好ま

しい。さらに、前記  $Pt-Mn-X'$  の式で示される合金において、 $X'$  が 0.2~10 at% の範囲であることが好ましい。ただし、 $X'$  が Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Fe のいずれか 1 種または 2 種以上の元素である場合には、 $X'$  は 0.2~40 at% の範囲であることが好ましい。

## 【0181】

第 2 の反強磁性層 32 として、これらの適切な組成範囲の合金を使用し、これを熱処理することにより、第 2 の反強磁性層 32、他の反強磁性層 31 と強磁性層 17 との間に大きな交換結合磁界を発生する交換結合膜を得ることができる。特に、PtMn 合金であれば、強磁性層との間に 48 kA/m 以上、例えば 64 kA/m を越える交換結合磁界を有し、前記交換結合磁界を失うブロッキング温度が 380℃ と極めて高い優れた第 2 の反強磁性層 32 を得ることができる。

## 【0182】

これらの合金は、成膜直後の状態では、不規則系の面心立方構造 (fcc) であるが、熱処理によって CuAuI 型の規則型の面心正方構造 (fct) に構造変態する。

## 【0183】

なお、本実施の形態の磁気検出素子は、第 1 の反強磁性層 12 と第 2 の反強磁性層 32 を同じ組成の反強磁性材料を用いて形成することができる。

## 【0184】

また、第 2 の反強磁性層 32 の上層に Ta などの非磁性材料からなる保護層を成膜してもよい。

## 【0185】

次に第 2 の反強磁性層 32 まで形成された多層膜 B を、第 2 の熱処理温度、X 方向を向いた第 2 の大きさの磁界中で、第 2 の磁場中アニールにかけて、第 2 の反強磁性層 32、他の反強磁性層 31 と強磁性層 17 との間に、非磁性層 30 を介した RKKY 相互作用による、交換異方性磁界を発生させ、強磁性層 17 の磁化方向を図示 X 方向に固定する。強磁性層 17 の磁化方向が図示 X 方向に固定されると、フリー磁性層 15 の磁化方向も非磁性中間層 16 を介した強磁性層 17 との RKKY 相互作用によって、図示 X 方向に固定される。本実施の形態では、

前記第2の熱処理温度を250℃、磁界の第2の大きさを24k (A/m) としている。

## 【0186】

第2の反強磁性層32及び他の反強磁性層31による交換異方性磁界は、第2の磁場中アニール工程において始めて生じる。従って、第1の反強磁性層12による交換異方性磁界の方向を図示Y方向に向けたまま、第2の反強磁性層32及び他の反強磁性層31による交換異方性磁界を図示X方向に向けるためには、前記第2の熱処理温度を、第1の反強磁性層12による交換結合磁界が消失するブロッキング温度より低い温度に設定し、前記第2の磁界の大きさを第1の反強磁性層12による交換異方性磁界より小さくするだけでよい。また、第2の磁場中アニールをこれらの条件下で行えば、第1の反強磁性層12と第2の反強磁性層32を同じ組成の反強磁性材料を用いて形成しても、第1の反強磁性層12による交換異方性磁界の方向を図示Y方向に向けたまま、第2の反強磁性層32による交換異方性磁界を図示X方向に向けることができる。すなわち、フリー磁性層15の磁化方向を、固定磁性層13の磁化方向と直交する方向に固定することが容易になる。

## 【0187】

次に、図12に示すように、第2の反強磁性層32上にレジスト40、40を積層し、第2の反強磁性層32上をトラック幅Twの間隔を開けてマスキングする。

## 【0188】

さらに、図13に示すように、第2の反強磁性層32のレジスト40、40によってマスクされない部分を、イオンミリングまたは反応性イオンエッチング (RIE) などによって、基板11の表面11aに対する垂直方向、すなわちトラック幅方向に対する垂直方向に削り込むことにより凹部41を形成する。凹部41の側面41a、41aは、トラック幅方向に対して垂直になっている。図13では、凹部41の底面41bが第2の反強磁性層32内に位置するように、凹部41を形成している。又凹部41の底面41bが他の反強磁性層31内に位置するようにしてもよい。

## 【 0 1 8 9 】

このとき、第2の反強磁性層32の、凹部41の底面41bの下部に位置する領域の厚さと他の反強磁性層31の厚さの合計 $t_3$ を、0より大きく30Å以下にする。本実施の形態のように、第2の反強磁性層32の、凹部41の底面41bの下部に位置する領域の厚さと他の反強磁性層31の厚さの合計 $t_3$ を0より大きく30Å以下にすると、凹部41の底面41bの下部に位置する第2の反強磁性層32と他の反強磁性層31の領域では、第2の磁場中アニールによって不規則-規則変態が生じず、交換結合磁界が発生しない。

## 【 0 1 9 0 】

すなわち、強磁性層17の磁化方向は、凹部41の底面41bに重なる領域以外のトラック幅方向両端部D、Dでのみ、第2の反強磁性層32及び他の反強磁性層31との、非磁性層30を介したRKKY相互作用によって固定される。従って、強磁性層17の下層に非磁性中間層16を介して積層されているフリー磁性層15の磁化方向も、トラック幅方向両端部D、Dでのみ強磁性層17とのRKKY相互作用により固定される。

## 【 0 1 9 1 】

凹部41の底面41bに重なるフリー磁性層15の領域Eは、外部磁界が印加されない状態において、磁化方向が固定された両端部D、Dにならって図示X方向に揃えられ、外部磁界が印加されるとその磁化方向が変化する。

## 【 0 1 9 2 】

従って、磁気検出素子のトラック幅は、前記凹部の幅寸法 $T_w$ によって決定される。上述したように、本発明では、凹部41は一様の厚さで成膜された第2の反強磁性層32、もしくは第2の反強磁性層32及び他の反強磁性層31を、反応性イオンエッチング(RIE)やイオンミリングを用いて、基板11の表面11aに対する垂直方向に削るだけで形成することができるので、正確な幅寸法 $T_w$ で凹部41を形成することが可能になる。すなわち、磁気検出素子のトラック幅 $T_w$ を正確に規定できる。

## 【 0 1 9 3 】

凹部41の形成後、図14に示すように凹部41の幅寸法(=トラック幅 $T_w$



）より広い幅寸法の領域を覆うリフトオフ用のレジスト42を第2の反強磁性層32上に形成し、第2の反強磁性層32上であって、レジスト42によって覆われていない領域に電極層43、43をスパッタ法や蒸着法によって成膜する。電極層43、43は、例えば、Au、W、Cr、Taなどを用いて成膜される。電極層43、43の成膜後、レジスト層42を除去して、図15に示される磁気検出素子を得る。

## 【0194】

本実施の形態の製造方法によって形成された磁気検出素子は電極層43、43と凹部41との間にトラック幅方向の段差ができる。なお、第2の反強磁性層32上に前述したTa、Crなどからなる保護層を介して電極層43、43が積層されてもよい。

## 【0195】

なお、上記説明では第2の反強磁性層32の上層にレジスト40、40を積層して、第2の反強磁性層32に凹部を形成した後、第2の反強磁性層32の上層に電極層43、43を積層したが、第2の反強磁性層32の上層に電極層43を成膜した後、電極層43上にトラック幅方向にトラック幅寸法の間隔を開けて一対のレジストを積層して、電極層43及び第2の反強磁性層32に凹部を形成してもよい。

## 【0196】

また、前記第2の磁場中アニールは、第2の反強磁性層32、もしくは第2の反強磁性層32及び他の反強磁性層31に凹部41を形成した後行ってもよい。

## 【0197】

また、本実施の形態では、基板11上に直接第1の反強磁性層12が積層されているが、基板11上にアルミナ層及びTa等からなる下地層を介して反強磁性層12が積層されてもよい。

## 【0198】

なお、多層膜A1を形成するとき、フリー磁性層15と非磁性材料層14の間に、Coなどからなる拡散防止層が形成されていてもよい。この拡散防止層はフリー磁性層15と非磁性材料層14の相互拡散を防止する。また、第2固定磁

性層 1 3 c と非磁性材料層 1 4 の間に C o などからなる拡散防止層が形成されていてよい。この拡散防止層は第 2 固定磁性層 1 3 c と非磁性材料層 1 4 の相互拡散を防止する。

## 【 0 1 9 9 】

また、フリー磁性層 1 5 及び強磁性層 1 7 は、それぞれの単位面積あたりの磁気モーメントが異なるように形成されている。単位面積あたりの磁気モーメントは、飽和磁化 ( $M_s$ ) と膜厚 ( $t$ ) の積で表される。従って、例えば、フリー磁性層 1 5 及び強磁性層 1 7 を同じ材料を用いて形成し、さらに、それぞれの膜厚を異ならせることにより、フリー磁性層 1 5 及び強磁性層 1 7 の単位面積あたりの磁気モーメントを異ならせることができる。

## 【 0 2 0 0 】

なお、フリー磁性層 1 5 と非磁性材料層 1 4 の間に、C o などからなる拡散防止層が形成される場合には、フリー磁性層 1 5 の磁気モーメントと前記拡散防止層の単位面積あたりの磁気モーメントの和と、強磁性層 1 7 の単位面積あたりの磁気モーメントを異ならせることが好ましい。

## 【 0 2 0 1 】

図 1 5 は、上述した本発明の実施の形態の製造方法によって製造された磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図である。

## 【 0 2 0 2 】

図 1 5 の磁気検出素子では、凹部 4 1 の底面 4 1 b が縦バイアス層となる第 2 の反強磁性層 3 2 と他の反強磁性層 3 1 のうち第 2 の反強磁性層 3 2 内に位置している。従って、フリー磁性層 1 5 と強磁性層 1 7 が、非磁性中間層 1 6 を介して隣接し、フリー磁性層 1 5 の磁化方向と強磁性層 1 7 の磁化方向が反平行となるフェリ磁性状態となる。このとき、フリー磁性層 1 5、非磁性中間層 1 6 及び強磁性層 1 7 からなる多層膜がひとつのフリー磁性層、すなわちシンセティックフェリフリー磁性層 F として機能する。シンセティックフェリフリー磁性層 F では、フリー磁性層 1 5 の膜厚を薄くして、フリー磁性層 1 5 の磁化を変動しやすくすることと同等の効果が得られ、磁気抵抗効果素子の磁界検出感度が向上する。

## 【0203】

フリー磁性層15の磁気モーメントと強磁性層17の磁気モーメントを足し合わせた合成磁気モーメントの方向がシンセティックフェリフリー磁性層Fの磁化方向となる。

## 【0204】

ただし、固定磁性層13の磁化方向との関係で出力に寄与するのはフリー磁性層15の磁化方向のみである。

## 【0205】

フリー磁性層15及び強磁性層17の、それぞれの単位面積あたりの磁気モーメントが異なるように形成されているとシンセティックフリー磁性層Fのスピンフロップ磁界 $H_{sf}$ が大きくなる。これにより、シンセティックフリー磁性層Fがフェリ磁性状態を保つ磁界の範囲が広くなり、フェリ磁性状態の安定度が増す。

## 【0206】

なお、強磁性層17の厚さ $t_{f2}$ は0.5～2.5nmの範囲であることが好ましい。また、フリー磁性層15の厚さ $t_{f1}$ は2.5～4.5nmの範囲であることが好ましい。なお、フリー磁性層15の厚さ $t_{f1}$ が3.0～4.0nmの範囲であることがより好ましく、さらに好ましくは3.5～4.0nmの範囲であることである。フリー磁性層15の厚さ $t_{f1}$ が前記の範囲を外れると、スピバルブ型磁気検出素子の磁気抵抗変化率を大きくすることができなくなるので好ましくない。

## 【0207】

図15の磁気検出素子では、第2の反強磁性層32はトラック幅領域から外れた全領域（トラック幅方向両端部D，D）において反強磁性を発生するために十分な膜厚を有し、トラック幅領域から外れた全領域において強磁性層17及びフリー磁性層15の磁化方向を確実に固定することができる。また、本実施の形態のように、縦バイアス層である第2の反強磁性層32及び他の反強磁性層31とのRKKY相互作用によって強磁性層17の磁化方向が揃えられるものは、縦バイアス層である第2の反強磁性層32及び他の反強磁性層31と強磁性層17と

が直に接しているものよりも交換結合力を強くすることができる。

## 【0208】

凹部41の底面41bに重なるフリー磁性層15及び強磁性層17の領域Eは、外部磁界が印加されない状態において、磁化方向が固定された両端部D、Dにならって図示X方向に揃えられ、外部磁界が印加されるとその磁化方向が変化する。

## 【0209】

従って、磁気検出素子のトラック幅は、凹部41の幅寸法Twによって決定され、しかも、トラック幅Twから外れた領域で記録信号を読み取ってしまうサイドリーディングを防止することができる。

## 【0210】

また、縦バイアス層である第2の反強磁性層32及び他の反強磁性層31と強磁性層17との間の交換結合は凹部41の底面41bに重ならないトラック幅方向両端部D、Dにのみ働き、凹部41の底面41bに重なる領域Eには作用しない。

## 【0211】

従って、縦バイアス層である第2の反強磁性層32と他の反強磁性層31のうち第2の反強磁性層32に形成された凹部41の幅寸法として設定されたトラック幅（光学的トラック幅）Twの領域が、実質的に記録磁界の再生に寄与し、磁気抵抗効果を発揮する感度領域となり、磁気検出素子の形成時に設定されたトラック幅（光学的トラック幅）Twの領域に不感領域が生じないので、高記録密度化に対応するために磁気検出素子の光学的トラック幅Twを小さくしていった場合の再生出力の低下を抑えることができる。

## 【0212】

さらに、本実施の形態では磁気検出素子の側端面S、Sがトラック幅方向に対して垂直となるように形成されることが可能なので、フリー磁性層15の幅方向長さのバラつきを抑えることができる。

## 【0213】

また、図1の工程において前記第1固定磁性層13aと前記第2固定磁性層1

3cを単位面積あたりの磁気モーメントが異なるものとして形成している。従って、前記第1固定磁性層13aと前記第2固定磁性層13cを、前記非磁性中間層13bを介して積層されたものが、一つの固定磁性層13として機能する。

## 【0214】

第1固定磁性層13aは反強磁性層12と接して形成され、磁場中アニールが施されることにより、第1固定磁性層13aと反強磁性層12との界面にて交換結合による交換異方性磁界が生じ、第1固定磁性層13aの磁化方向が図示Y方向に固定される。第1固定磁性層13aの磁化方向が図示Y方向に固定されると、非磁性中間層13bを介して対向する第2固定磁性層13cの磁化方向が、第1固定磁性層13aの磁化方向と反平行の状態に固定される。

## 【0215】

なお、第1固定磁性層13aの磁気モーメントと第2固定磁性層13cの磁気モーメントを足し合わせた合成磁気モーメントの方向が固定磁性層13の磁化方向となる。

## 【0216】

このように、第1固定磁性層13aと第2固定磁性層13cの磁化方向は、反平行となるフェリ磁性状態になっており、第1固定磁性層13aと第2固定磁性層13cとが互いに他方の磁化方向を固定しあうので、全体として固定磁性層13の磁化方向を一定方向に安定させることができるので好ましい。

## 【0217】

第1固定磁性層13a及び第2固定磁性層13cは、強磁性材料により形成されるもので、例えばNiFe合金、Co、CoNiFe合金、CoFe合金、CoNi合金などにより形成されるものであり、特にNiFe合金またはCoにより形成されることが好ましい。また、第1固定磁性層13a及び第2固定磁性層13cは同一の材料で形成されることが好ましい。

## 【0218】

図15では、前記第1固定磁性層13a及び前記第2固定磁性層13cを同じ材料を用いて形成し、さらに、それぞれの膜厚を異ならせることにより、それぞれの単位面積あたりの磁気モーメントを異ならせている。

## 【0219】

また、非磁性中間層13bは、非磁性材料により形成されるもので、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種またはこれらの2種以上の合金で形成されている。特にRuによって形成されることが好ましい。

## 【0220】

固定磁性層13が非磁性中間層13bの上下に第1固定磁性層13a及び第2固定磁性層13cが積層されたものとして形成されると、第1固定磁性層13a及び第2固定磁性層13cが互いの磁化方向を固定しあい、全体として固定磁性層13の磁化方向を一定方向に強力に固定することができる。すなわち、第1の反強磁性層12と固定磁性層13との交換結合磁界 $H_{ex}$ を例えば80～160 kA/mと、大きな値として得ることができる。従って、第1の反強磁性層12に接する第1の固定磁性層13aの磁化方向をハイト方向に向けるための第1の磁場中アニールを行った後の、トラック幅方向の磁界中における第2の磁場中アニールによって、固定磁性層13の磁化方向がトラック幅方向に傾いて固定されることを防ぎつつ、第2の反強磁性層32による縦バイアス磁界を大きくすることができる。

## 【0221】

また、本実施の形態では、固定磁性層13の固定磁化による反磁界（双極子磁界）を、第1の固定磁性層13a及び第2の固定磁性層13cの静磁界結合同士が相互に打ち消し合うことによりキャンセルできる。これにより、固定磁性層13の固定磁化による反磁界（双極子磁界）からの、フリー磁性層15の変動磁化への寄与を減少させることができる。

## 【0222】

従って、フリー磁性層15の変動磁化の方向を所望の方向に補正することがより容易になり、アシンメトリーの小さい対称性の優れたスピバルブ型磁気検出素子を得ることが可能になる。

## 【0223】

また、固定磁性層13の固定磁化による反磁界（双極子磁界） $H_d$ は、素子高さ方向において、その端部で大きく中央部で小さいという不均一な分布を持ち、

フリー磁性層 15 内における単磁区化が妨げられる場合があるが、固定磁性層 13 を上記の積層構造とすることにより双極子磁界  $H_d$  をほぼ  $H_d = 0$  とすることができ、これによってフリー磁性層 15 内に磁壁ができて磁化の不均一が発生しバルクハウゼンノイズなどが発生することを防止することができる。

## 【0224】

また、非磁性層 30 を導電性を有する材料を用いて形成することにより、スピントラップ効果を有するバックド層 (backed layer) として機能させることが可能になる。

## 【0225】

また、本実施の形態では、他の反強磁性層 31 を鏡面反射層として形成することも可能である。他の反強磁性層 31 を鏡面反射層として形成するためには、他の反強磁性層 31 を、例えば  $\text{NiMnSb}$ 、 $\text{PtMnSb}$  などの半金属ホイッスラー合金の、単層膜または多層膜として形成すればよい。

## 【0226】

これらの材料を用いることにより、隣接する層との間に、十分なポテンシャル障壁を形成することが可能であり、その結果十分な鏡面反射効果を得ることができる。

## 【0227】

鏡面反射効果について説明する。図 31 及び図 32 は、スピントラップ型磁気検出素子において鏡面反射層 S1 による鏡面反射効果を説明するための模式説明図である。スピントラップ効果の説明において上述したように、GMR 効果では固定磁性層 113 の固定磁化方向によって規定されるアップスピン電子の挙動のみを考えればよい。

## 【0228】

固定磁性層の磁化方向とフリー磁性層の磁化方向が平行となる状態では、図 31 及び図 32 に示すように、アップスピン電子は、非磁性材料層 114 からフリー磁性層 115 にまで到達する。そして、フリー磁性層 115 内部を移動してフリー磁性層 115 と鏡面反射層 S1 との界面付近に到達する。

## 【0229】

ここで図31に示す鏡面反射層がない場合には、アップスピン電子がフリー磁性層115中を移動し、その上面において散乱する。このため、平均自由行程は図に示す $\lambda + s$ となる。

#### 【0230】

一方、図32のように、鏡面反射層S1がある場合には、フリー磁性層115と鏡面反射層S1との界面付近にポテンシャル障壁が形成されるため、アップスピン電子がフリー磁性層115と鏡面反射層S1との界面付近で鏡面反射（鏡面散乱）する。

#### 【0231】

通常、伝導電子が散乱した場合には、その電子の持っているスピン状態（エネルギー、量子状態など）は変化する。しかし、鏡面散乱した場合には、このアップスピン電子はスピン状態が保存されたまま反射される確率が高く、再びフリー磁性層115中を移動することになる。つまり、鏡面反射によって、アップスピンの伝導電子のスピン状態が維持されるので、あたかも散乱されなかったようにフリー磁性層中を移動することになる。

#### 【0232】

これは、アップスピン電子が鏡面反射した分、反射平均自由行程 $\lambda + s$ だけ平均自由行程が延びたことを意味する。

#### 【0233】

固定磁性層の磁化方向とフリー磁性層の磁化方向が反平行となる状態では、アップスピン電子はフリー磁性層115の磁化方向に平行なスピンを持った電子でなくなる。すると、アップスピン電子は、フリー磁性層115と非磁性材料層114との界面付近で散乱されることになり、アップスピン電子の有効平均自由行程が急激に減少する。すなわち、抵抗値が増大する。抵抗変化率は、アップスピン電子の有効平均自由行程の変化量と正の相関関係を有する。

#### 【0234】

鏡面反射層として機能する他の反強磁性層31を有する本実施の形態では、アップスピンの伝導電子の平均自由行程を伸ばすことができる。このため、外部磁界の印加によるアップスピン電子の平均自由行程の変化量が大きくなって、スピ



ンバルブ型磁気検出素子の磁気抵抗変化率 ( $\Delta R/R$ ) をより向上させることができる。

## 【0235】

スピンフィルター効果、鏡面反射効果によるアップスピンの伝導電子とダウンスピンの伝導電子の平均自由行程差の拡大はフリー磁性層の膜厚が比較的薄い場合により効果を発揮する。

## 【0236】

このスピンバルブ型磁気検出素子においては、電極層43、43からシンセティックフェリフリー磁性層F、非磁性材料層14、固定磁性層13に定常電流が与えられ、図示Z方向に走行する磁気記録媒体からの漏れ磁界が図示Y方向に与えられると、シンセティックフェリフリー磁性層Fのうちフリー磁性層15の磁化方向が図示X方向から図示Y方向に向けて変動する。この第1のフリー磁性層15内での磁化方向の変動と第2の固定磁性層13cの磁化方向との関係で電気抵抗が変化し、この抵抗変化に基づく電圧変化により磁気記録媒体からの漏れ磁界が検出される。

## 【0237】

なお、図13に示された工程において凹部41を形成するとき、凹部41の底面41bが第2の反強磁性層32内に位置するようにしたが、この底面41bが強磁性層17内に位置するように凹部41を形成して、図16に示される磁気検出素子を得ることもできる。

## 【0238】

図16の磁気検出素子では、トラック幅Twの領域内において第2の反強磁性層32及び他の反強磁性層31を完全に除去しているため、縦バイアス層である第2の反強磁性層32及び他の反強磁性層31の厚みにばらつきがある場合でも、凹部41の底面41bに縦バイアス層が残ることがないため、トラック幅Twを精度よく画定でき、高記録密度化に対応可能なスピンバルブ型磁気検出素子を得ることができる。また、第2の反強磁性層32及び他の反強磁性層31を完全に除去することは簡単であるため、容易に製造することができる。

## 【0239】

または、底面41bが非磁性中間層16内に位置するように凹部41を形成して、図17に示される磁気検出素子を得ることもできる。

## 【0240】

図17に示される磁気検出素子では、強磁性層17が、第2の反強磁性層32及び他の反強磁性層31との非磁性層30を介したRKKY相互作用によって磁化方向がトラック幅方向（図示X方向）に固定され、さらに、この強磁性層17の下層に非磁性中間層16を介して形成されたフリー磁性層15の磁化方向も、強磁性層17とのRKKY相互作用によって、トラック幅方向（図示X方向）に揃えられる。すなわち、第2の反強磁性層32の下層の領域（トラック幅方向両端部D、D）において強磁性層17、非磁性中間層16、及びフリー磁性層15がシンセティックフェリ構造となっており、フリー磁性層15の磁化方向をトラック幅方向に揃えることが容易になっている。

## 【0241】

従って、第2の反強磁性層32及び他の反強磁性層31と強磁性層17とのRKKY相互作用が比較的弱くても、フリー磁性層15の磁化方向を確実に固定磁性層13の磁化方向と交叉する方向に揃えることが容易になる。

## 【0242】

また、図16に示される磁気検出素子では、非磁性中間層16はトラック幅Twの領域内において、フリー磁性層15の保護層として機能する。また、非磁性中間層16を、導電性を有する材料を用いて形成することにより、スピンスピンフィルター効果を有するバックド層（backed layer）として機能させることが可能になる。

## 【0243】

また、図10に示された工程において、強磁性層17の成膜後、非磁性層30を積層せず、強磁性層17の上層に他の反強磁性層31を直接積層した多層膜A2を形成し、この多層膜A2を第1の磁場中アニールにかけ、その後多層膜A2上に第2の反強磁性層32を積層し、例えば図18に示される磁気検出素子を得てもよい。

## 【0244】

図18の磁気検出素子は、強磁性層17の上層に他の反強磁性層31及び第2の反強磁性層32が積層されているため、強磁性層17の磁化方向は、他の反強磁性層31及び第2の反強磁性層32との交換結合によって図示X方向に揃えられる。

【0245】

さらに、この強磁性層17の下層に非磁性中間層16を介して形成されたフリー磁性層15の磁化方向も、強磁性層17とのRKKY相互作用によって、トラック幅方向（図示X方向）に揃えられる。すなわち、縦バイアス層となる第2の反強磁性層32、他の反強磁性層31及び強磁性層17の下層の領域（トラック幅方向両端部D、D）において強磁性層17、非磁性中間層16、及びフリー磁性層15がシンセティックフェリ構造となっており、フリー磁性層15の磁化方向をトラック幅方向に揃えることが容易になっている。

【0246】

従って、第2の反強磁性層32及び他の反強磁性層31と強磁性層17との交換結合が比較的弱くても、フリー磁性層15の磁化方向を確実に固定磁性層13の磁化方向と交叉する方向に揃えることが容易になる。

【0247】

フリー磁性層15の磁化方向は、凹部41の底面41bの下部に位置する領域以外のトラック幅方向両端部D、Dでのみ、第2の反強磁性層32及び他の反強磁性層31との交換結合によって固定される。

【0248】

フリー磁性層15の凹部41の底面41bの下部に位置する領域Eは、外部磁界が印加されない状態において、第2の反強磁性層32及び他の反強磁性層31との交換結合によって磁化方向が固定された両端部D、Dにならって図示X方向に揃えられ、外部磁界が印加されるとその磁化方向が変化する。

【0249】

また、図18に示される磁気検出素子では、非磁性中間層16はトラック幅Twの領域内において、フリー磁性層15の保護層として機能する。また、非磁性中間層16を、導電性を有する材料を用いて形成することにより、スピNFL

ター効果を有するバックド層 (backed layer) として機能させることが可能になる。

## 【 0 2 5 0 】

フリー磁性層 1 5 の成膜後、非磁性層 3 0 を積層せずに他の反強磁性層 1 7 を積層する製造方法でも、フリー磁性層 1 5 の磁化方向を、固定磁性層 1 3 の磁化方向と直交する方向に固定することが容易になる。

## 【 0 2 5 1 】

また、第 1 の反強磁性層 1 2 と第 2 の反強磁性層 3 2 を同じ組成の反強磁性材料を用いて形成しても、第 1 の実施の形態と同様に、第 1 の反強磁性層 1 2 による交換異方性磁界の方向を図示 Y 方向に向けたまま、第 2 の反強磁性層 3 2 による交換異方性磁界を図示 X 方向に向けることができる。

## 【 0 2 5 2 】

なお、図 1 8 に示される磁気検出素子では、底面 4 1 b が非磁性中間層 1 6 内に位置するように凹部 4 1 が形成されているが、底面 4 1 b が、強磁性層 1 7 内、他の反強磁性層 3 1 内、又は第 2 の反強磁性層 3 2 内に位置するように凹部 4 1 が形成されてもよい。これらの場合、得られた磁気検出素子では、強磁性層 1 7、非磁性中間層 1 6 及びフリー磁性層 1 5 が、いわゆるシンセティックフェリフリー磁性層として働くことになる。

## 【 0 2 5 3 】

また、図 1 0 に示された工程において、非磁性層 3 0 の成膜後、他の反強磁性層 3 1 を積層しない多層膜 A 3 の状態で第 1 の磁場中アニールにかけ、その後多層膜 A 3 上に第 2 の反強磁性層 3 2 を積層し、例えば図 1 9 に示される磁気検出素子を得てもよい。ただし、多層膜 A 3 の状態で第 1 の磁場中アニールにかけると非磁性層 3 0 の上面に酸化層が形成されるので、第 2 の反強磁性層 3 2 を積層する前に非磁性層 3 0 に形成された酸化層をイオンミリングなどで削って除去する必要がある。

## 【 0 2 5 4 】

図 1 9 の磁気検出素子は、非磁性層 3 0 の上層に第 2 の反強磁性層 3 2 が積層されているため、強磁性層 1 7 の磁化方向は、第 2 の反強磁性層 3 2 との R K K

Y相互作用によって図示X方向に揃えられる。

【0255】

さらに、この強磁性層17の下層に非磁性中間層16を介して形成されたフリー磁性層15の磁化方向も、強磁性層17とのRKKY相互作用によって、トラック幅方向（図示X方向）に揃えられる。すなわち、第2の反強磁性層32の下層の領域（トラック幅方向両端部D，D）において強磁性層17、非磁性中間層16、及びフリー磁性層15がシンセティックフェリ構造となっており、フリー磁性層15の磁化方向をトラック幅方向に揃えることが容易になっている。

【0256】

従って、第2の反強磁性層32と強磁性層17とのRKKY相互作用が比較的弱くても、フリー磁性層15の磁化方向を確実に固定磁性層13の磁化方向と交叉する方向に揃えることが容易になる。

【0257】

フリー磁性層15の磁化方向は、凹部41の底面41bの下部に位置する領域以外のトラック幅方向両端部D，Dでのみ、第2の反強磁性層32との磁氣的結合によって固定される。

【0258】

フリー磁性層15の凹部41の底面41bの下部に位置する領域Eは、外部磁界が印加されない状態において、第2の反強磁性層32とのRKKY相互作用によって磁化方向が固定された両端部D，Dにならって図示X方向に揃えられ、外部磁界が印加されるとその磁化方向が変化する。

【0259】

また、図19に示される磁気検出素子では、非磁性中間層16はトラック幅Twの領域内において、フリー磁性層15の保護層として機能する。また、非磁性中間層16を、導電性を有する材料を用いて形成することにより、スピンスルター効果を有するバックド層（backed layer）として機能させることが可能になる。

【0260】

非磁性層30上に他の反強磁性層31を積層しない製造方法でも、フリー磁性

層 1 5 の磁化方向を、固定磁性層 1 3 の磁化方向と直交する方向に固定することが容易になる。

## 【 0 2 6 1 】

また、第 1 の反強磁性層 1 2 と第 2 の反強磁性層 3 2 を同じ組成の反強磁性材料を用いて形成しても、第 1 の実施の形態と同様に、第 1 の反強磁性層 1 2 による交換異方性磁界の方向を図示 Y 方向に向けたまま、第 2 の反強磁性層 3 2 による交換異方性磁界を図示 X 方向に向けることができる。

## 【 0 2 6 2 】

なお、図 1 9 に示される磁気検出素子では、底面 4 1 b が非磁性中間層 1 6 内に位置するように凹部 4 1 が形成されているが、底面 4 1 b が、強磁性層 1 7 内、他の反強磁性層 3 1 内、又は第 2 の反強磁性層 3 2 内に位置するように凹部 4 1 が形成されてもよい。これらの場合、得られた磁気検出素子では、強磁性層 1 7、非磁性中間層 1 6 及びフリー磁性層 1 5 が、いわゆるシンセティックフェリフリー磁性層として働くことになる。

## 【 0 2 6 3 】

上述した図 1 から図 6 に示した本発明の製造方法の実施の形態では、第 2 の反強磁性層である第 2 の反強磁性層 1 9 を成膜して第 2 の磁場中アニールをした後に、第 2 の反強磁性層 1 9 上にレジストをパターンニングして凹部 2 1 を形成した。しかし、以下に示すように第 2 の反強磁性層 1 9 を成膜して第 2 の磁場中アニールをした後に、第 2 の反強磁性層 1 9 上にトラック幅方向に間隔を開けて形成された一対の電極層を形成し、この電極層をマスクにして凹部を形成してもよい。

## 【 0 2 6 4 】

図 3 に示した工程終了後、すなわち第 1 の熱処理温度、第 1 の大きさの磁界中で第 1 の磁場中アニールをした後、第 2 の反強磁性層 1 9 を成膜して形成された多層膜 B を第 2 の熱処理温度、X 方向を向いた第 2 の大きさの磁界中で、第 2 の磁場中アニールを行い、第 2 の反強磁性層 1 9 と強磁性層 1 7 との間に交換異方性磁界を発生させ、フリー磁性層 1 5 の磁化方向を図示 X 方向に固定した後、図 2 0 示すように第 2 の反強磁性層 1 9 の表面に、トラック幅分より若干広い領域

を覆うリフトオフ用のレジスト51を積層する。レジスト層51には、その下面に切り込み部51a, 51aが形成されている。なお、図示していないが、第2の反強磁性層19の上層にTa、Crなどからなる保護層を形成してもよい。

## 【0265】

さらに図21に示す工程によって、第2の反強磁性層19の上層に電極層23, 23を成膜する。本実施の形態では、電極層23, 23の成膜の際に使用されるスパッタ法は、イオンビームスパッタ法、ロングスロースパッタ法、あるいはコリメーションスパッタ法のいずれか1種以上であることが好ましい。なお、第2の磁場中アニールによって第2の反強磁性層19または第2の反強磁性層19上に形成された保護層が酸化したときは、第2の反強磁性層19の表面または前記保護層の表面をイオンミリングなどによって削り、酸化した部分を除去する。

## 【0266】

本実施の形態では、多層膜Bの形成された基板11を、電極層23, 23の組成で形成されたターゲットに対し垂直方向に置き、これにより例えばイオンビームスパッタ法を用いることで、前記多層膜Bに対し垂直方向から電極層23, 23を成膜する。

## 【0267】

レジスト層51の切り込み部51a, 51a付近には、スパッタ粒子が積層されにくい。従って、レジスト層51の切り込み部51a, 51a付近では、電極層23, 23は膜厚が薄く形成され、電極層23, 23に傾斜面23a, 23aが形成される。電極層23, 23は、例えば、Au、W、Cr、Taなどを用いて成膜される。なお、レジスト層51上には、電極層23, 23と同じ組成の層23bが形成される。電極層23, 23を成膜した後、レジスト層51を除去すると、図21に示す状態になる。

## 【0268】

さらに、図22に示すように、電極層23, 23をマスクとして、第2の反強磁性層19の電極層23, 23によって覆われていない部分を、イオンミリングまたは反応性イオンエッチング(RIE)などによって、削り込むことにより凹部24を形成する。凹部24の側面24a, 24aは、電極層23, 23の傾斜

面 23 a, 23 a を含む傾斜面となっている。図 22 では、凹部 24 の底面 24 b が第 2 の反強磁性層 19 内に位置するように、凹部 24 を形成している。

## 【0269】

このとき、凹部 24 の底面 24 b の下部に位置する第 2 の反強磁性層 19 の領域の厚さ  $t_4$  を 0 より大きく 30 Å 以下にする。

## 【0270】

本実施の形態では、凹部 24 の底面 24 b の幅寸法がトラック幅  $T_w$  を規定する。凹部 24 の底面 24 b の幅寸法は、図 20 に示した工程において、レジスト 51 の寸法を調節すること及び図 22 の工程において凹部 24 の深さ寸法を調節することにより規定することができる。

## 【0271】

なお、図 22 に示した工程において、底面 24 b が強磁性層 17 内に位置するように凹部 24 を形成してもよい。または、底面 24 b が非磁性中間層 16 内に位置するように凹部 24 を形成してもよい。

## 【0272】

図 23 は、図 20 から図 22 に示された工程を経て形成された磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図である。

## 【0273】

この磁気検出素子は、図 7 の磁気検出素子とほとんど同じであり、凹部 24 の側面 24 a, 24 a が基板 11 の表面 11 a に対する垂直方向に対する傾斜面となっている点でのみ異っている。基板 11 の表面 11 a に対する垂直方向とはトラック幅方向（図示 X 方向）に垂直方向に等しい。側面 24 a, 24 a の基板 11 の表面 11 a に対する垂直方向に対する傾斜角は  $20^\circ$  である。

## 【0274】

凹部 24 の底面 24 b に重なる第 2 の反強磁性層 19 の領域の厚さ  $t_4$  を 0 より大きく 30 Å 以下にし、凹部 24 の底面 24 b に重なる第 2 の反強磁性層 19 の領域に磁場中アニールによる不規則-規則変態を生じさせず、交換結合磁界が発生しないようにしている。

## 【0275】



従って、強磁性層 1 7 及びフリー磁性層 1 5 の磁化方向は、凹部 2 4 の底面 2 4 b に重なる部分以外のトラック幅方向両端部 D、D でのみ、第 2 の反強磁性層 1 9 との交換結合によって固定される。

## 【 0 2 7 6 】

強磁性層 1 7 及びフリー磁性層 1 5 の凹部 2 4 の底面 2 4 b に重なる部分 E は、外部磁界が印加されない状態において、第 2 の反強磁性層 1 9 との交換結合によって磁化方向が固定された両端部 D、D にならって図示 X 方向に揃えられ、外部磁界が印加されるとその磁化方向が変化する。従って、磁気検出素子のトラック幅 T w は、凹部 2 4 の底面 2 4 b の幅寸法によって決定される。

## 【 0 2 7 7 】

図 2 0 から図 2 2 に示した凹部 2 4 の形成方法を用いて形成された磁気検出素子でも、強磁性層 1 7 及びフリー磁性層 1 5 の磁化方向を、固定磁性層 1 3 の磁化方向と直交する方向に固定することが容易になり、また磁気検出素子のトラック幅 T w を正確に規定できる。

## 【 0 2 7 8 】

さらに、第 1 の反強磁性層 1 2 と第 2 の反強磁性層 1 9 を同じ組成の反強磁性材料を用いて形成しても、第 1 の反強磁性層 1 2 による交換異方性磁界の方向を図示 Y 方向に向けたまま、第 2 の反強磁性層 1 9 による交換異方性磁界を図示 X 方向に向けることができる。

## 【 0 2 7 9 】

また、上述した図 1 0 から図 1 4 に示した本発明の製造方法の実施の形態では、第 2 の反強磁性層である第 2 の反強磁性層 3 2 を成膜して第 2 の磁場中アニールをした後に、第 2 の反強磁性層 3 2 上にレジストをパターニングして凹部 4 1 を形成した。しかし、以下に示すように第 2 の反強磁性層 3 2 を成膜して第 2 の磁場中アニールをした後に、第 2 の反強磁性層 3 2 上にトラック幅方向に間隔を開けて形成された一対の電極層を形成し、この電極層をマスクにして凹部を形成してもよい。

## 【 0 2 8 0 】

図 1 1 に示した工程終了後、すなわち第 1 の熱処理温度、第 1 の大きさの磁界

中で第 1 の磁場中アニール後、第 2 の反強磁性層 3 2 を成膜して形成された多層膜 B 2 を第 2 の熱処理温度、X 方向を向いた第 2 の大きさの磁界中で、第 2 の磁場中アニールにかけて、第 2 の反強磁性層 3 2 による交換異方性磁界を発生させ、強磁性層 1 7 及びフリー磁性層 1 5 の磁化方向を図示 X 方向に固定した後、図 2 4 に示すように第 2 の反強磁性層 3 2 の表面に、トラック幅分より若干広い領域を覆うリフトオフ用のレジスト 6 1 を積層する。レジスト層 6 1 には、その下面に切り込み部 6 1 a、6 1 a が形成されている。なお、図示していないが、第 2 の反強磁性層 3 2 の上層に Ta、Cr などからなる保護層を形成してもよい。

## 【 0 2 8 1 】

さらに、第 2 の反強磁性層 3 2 の上層に電極層 4 4、4 4 を成膜する。本実施の形態では、電極層 4 4、4 4 の成膜の際に使用されるスパッタ法は、イオンビームスパッタ法、ロングスロースパッタ法、あるいはコリメーションスパッタ法のいずれか 1 種以上であることが好ましい。なお、第 2 の磁場中アニールによって第 2 の反強磁性層 3 2 または第 2 の反強磁性層 3 2 上に形成された保護層が酸化したときは、第 2 の反強磁性層 3 2 の表面または前記保護層の表面をイオンミリングなどによって削り、酸化した部分を除去する。

## 【 0 2 8 2 】

本実施の形態では、多層膜 B 2 の形成された基板 1 1 を、電極層 4 4、4 4 の組成で形成されたターゲットに対し垂直方向に置き、これにより例えばイオンビームスパッタ法を用いることで、前記多層膜 B 2 に対し垂直方向から電極層 4 4、4 4 を成膜する。

## 【 0 2 8 3 】

レジスト層 6 1 の切り込み部 6 1 a、6 1 a 付近には、スパッタ粒子が積層されにくい。従って、レジスト層 6 1 の切り込み部 6 1 a、6 1 a 付近では、電極層 4 4、4 4 は膜厚が薄く形成され、電極層 4 4、4 4 に傾斜面 4 4 a、4 4 a が形成される。電極層 4 4、4 4 は、例えば、Au、W、Cr、Ta などを用いて成膜される。なお、レジスト層 6 1 上には、電極層 4 4、4 4 と同じ組成の層 4 4 b が形成される。電極層 4 4、4 4 を成膜した後、レジスト層 6 1 を除去すると、図 2 5 に示す状態になる。

## 【 0 2 8 4 】

さらに、図 2 6 に示すように、電極層 4 4, 4 4 をマスクとして、第 2 の反強磁性層 3 2 の電極層 4 4, 4 4 によって覆われていない部分を、イオンミリングまたは反応性イオンエッチング (R I E) などによって、削り込むことにより凹部 4 5 を形成する。凹部 4 5 の側面 4 5 a, 4 5 a は、電極層 4 4, 4 4 の傾斜面 4 4 a, 4 4 a を含む傾斜面となっている。図 2 6 では、底面 4 5 b が第 2 の反強磁性層 3 2 内に位置するように、凹部 4 5 を形成している。

## 【 0 2 8 5 】

このとき、凹部 4 5 の底面 4 5 b の下部に位置する第 2 の反強磁性層 3 2 及び他の反強磁性層 3 1 の領域の厚さ  $t_5$  を 0 より大きく 3 0 Å 以下にする。

## 【 0 2 8 6 】

本実施の形態では、凹部 4 5 の底面 4 5 b の幅寸法がトラック幅  $T_w$  を規定する。凹部 4 5 の底面 4 5 b の幅寸法は、図 2 4 に示した工程において、レジスト 6 1 の寸法を調節すること及び図 2 6 の工程において凹部 4 5 の深さ寸法を調節することにより規定することができる。

## 【 0 2 8 7 】

なお、図 2 6 に示した工程において、底面 4 5 b が強磁性層 1 7 内に位置するように凹部 4 5 を形成してもよい。または、底面 4 5 b が非磁性中間層 1 6 内に位置するように凹部 4 5 を形成してもよい。図 2 7 に底面 4 5 b が非磁性中間層 1 6 内に位置するように凹部 4 5 が形成された磁気検出素子を示す。

あるいは、底面 4 5 b が他の反強磁性層 3 1 内に位置するように凹部 4 5 を形成してもよいし、底面 4 5 b が非磁性層 3 0 内に位置するように凹部 4 5 を形成してもよい。

## 【 0 2 8 8 】

図 2 6 に示された磁気検出素子は、図 1 5 の磁気検出素子とほとんど同じであり、凹部 4 5 の側面 4 5 a, 4 5 a が基板 1 1 の表面 1 1 a に対する垂直方向に対する傾斜面となっている点でのみ異っている。基板 1 1 の表面 1 1 a に対する垂直方向とはトラック幅方向 (図示 X 方向) に垂直方向に等しい。側面 4 5 a, 4 5 a の基板 1 1 の表面 1 1 a に対する垂直方向に対する傾斜角は  $20^\circ$  である

## 【0289】

凹部45の底面45bに重なる第2の反強磁性層32の領域の厚さ及び他の反強磁性層31の厚さの合計 $t$ を0より大きく30Å以下にし、凹部45の底面45bに重なる第2の反強磁性層32及び他の反強磁性層31の領域に磁場中アニールによる不規則-規則変態を生じさせず、非磁性層30を介したRKKY相互作用が発生しないようにしている。

## 【0290】

従って、強磁性層17及びフリー磁性層15の磁化方向は、凹部45の底面45bに重なる部分以外のトラック幅方向両端部D、Dでのみ、第2の反強磁性層32及び他の反強磁性層31とのRKKY相互作用によって固定される。

## 【0291】

強磁性層17及びフリー磁性層15の凹部45の底面45bに重なる部分Eは、外部磁界が印加されない状態において、第2の反強磁性層32とのRKKY相互作用によって磁化方向が固定された両端部D、Dにならって図示X方向に揃えられ、外部磁界が印加されるとその磁化方向が変化する。従って、磁気検出素子のトラック幅 $T_w$ は、凹部45の底面45bの幅寸法によって決定される。

## 【0292】

図24から図26に示した凹部45の形成方法を用いて形成された磁気検出素子でも、強磁性層17及びフリー磁性層15の磁化方向を、固定磁性層13の磁化方向と直交する方向に固定することが容易になり、また磁気検出素子のトラック幅 $T_w$ を正確に規定できる。

## 【0293】

さらに、第1の反強磁性層12と第2の反強磁性層32を同じ組成の反強磁性材料を用いて形成しても、第1の反強磁性層12による交換異方性磁界の方向を図示Y方向に向けたまま、第2の反強磁性層32による交換異方性磁界を図示X方向に向けることができる。

## 【0294】

なお、上述した実施の形態において、固定磁性層13を単層の強磁性材料層と

して形成してもよい。

【0295】

なお上述した磁気検出素子を用いて磁気ヘッドを構成するときには、基板11と第1の反強磁性層12の間に、アルミナなどの絶縁性材料からなる下地層、この下地層上に積層される磁性合金からなる下部シールド層、及びこの下部シールド上に積層される絶縁性材料からなる下部ギャップ層が形成される。磁気検出素子は前記下部ギャップ層上に積層される。また、この磁気検出素子上には、絶縁性材料からなる上部ギャップ層、及びこの上部ギャップ層上に積層される磁性合金からなる上部シールド層が形成される。また、前記上部シールド層上に書き込み用のインダクティブ素子が積層されてもよい。

【0296】

【発明の効果】

以上詳細に説明した本発明では、前記多層膜上に第2の反強磁性層を積層しない状態で、前記多層膜を、磁場中アニールして前記固定磁性層の磁化方向を所定の方向に固定するので、前記多層膜上に第2の反強磁性層を積層した状態では、前記第2の反強磁性層による交換異方性磁界が発生していない。

【0297】

すなわち、前記第2の反強磁性層による交換異方性磁界は、前記第2の反強磁性層の積層後の第2の磁場中アニールにおいて始めて生じ、前記フリー磁性層の磁化方向を所定の方向に移動させることが容易になる。従って、前記フリー磁性層の磁化方向を、前記固定磁性層の磁化方向と直交する方向に固定することが容易になる。

【0298】

また、本発明の製造方法によって製造された磁気検出素子では、トラック幅が前記凹部の底面の幅寸法によって決定される。すなわち、前記凹部の底面に重なる部分でのみ、前記フリー磁性層などの外部磁界によって磁化方向が変化する磁性層の磁化方向を変化させることができる。しかも、前記凹部は、一様の厚さで成膜された前記第2の反強磁性層を、反応性イオンエッチング（RIE）やイオンミリングを用いて、トラック幅方向に対する垂直方向に削るだけで形成するこ

とができるので、正確な幅寸法で前記凹部を形成することが可能になる。すなわち、磁気検出素子のトラック幅を正確に規定できる。

【 0 2 9 9 】

さらに、本発明では前記凹部の側面をトラック幅方向に対して垂直面となるようにすることが可能である。すなわち、トラック幅領域から外れた全領域において、第2の反強磁性層による反強磁性が発生するために十分な膜厚を有することができ、トラック幅領域から外れた全領域において前記フリー磁性層の磁化方向を確実に固定することができる。

【 0 3 0 0 】

従って、磁気検出素子のトラック幅領域でのみ前記フリー磁性層の磁化方向を動かし、トラック幅領域周辺におけるサイドリーディングを防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の第 1 の実施の形態である磁気検出素子の製造方法の一工程を示す断面図、

【図 2】 本発明の磁気検出素子の製造方法における、図 1 の次工程を示す断面図、

【図 3】 本発明の磁気検出素子の製造方法における、図 2 の次工程を示す断面図、

【図 4】 本発明の磁気検出素子の製造方法における、図 3 の次工程を示す断面図、

【図 5】 本発明の磁気検出素子の製造方法における、図 4 の次工程を示す断面図、

【図 6】 本発明の磁気検出素子の製造方法における、図 5 の次工程を示す断面図、

【図 7】 本発明の第 1 の実施の形態によって形成された磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図 8】 本発明の第 2 の実施の形態によって形成された磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図 9】 本発明の第 3 の実施の形態によって形成された磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図 1 0】 本発明の第 4 の実施の形態である磁気検出素子の製造方法の一工程を示す断面図、

【図 1 1】 本発明の磁気検出素子の製造方法における、図 1 0 の次工程を示す断面図、

【図 1 2】 本発明の磁気検出素子の製造方法における、図 1 1 の次工程を示す断面図、

【図 1 3】 本発明の磁気検出素子の製造方法における、図 1 2 の次工程を示す断面図、

【図 1 4】 本発明の磁気検出素子の製造方法における、図 1 3 の次工程を示す断面図、

【図 1 5】 本発明の第 4 の実施の形態によって形成された磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図 1 6】 本発明の第 5 の実施の形態によって形成された磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図 1 7】 本発明の第 6 の実施の形態によって形成された磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図 1 8】 本発明の第 7 の実施の形態によって形成された磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図 1 9】 本発明の第 8 の実施の形態によって形成された磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図 2 0】 本発明の第 9 の実施の形態である磁気検出素子の製造方法の一工程を示す断面図、

【図 2 1】 本発明の磁気検出素子の製造方法における、図 2 0 の次工程を示す断面図、

【図 2 2】 本発明の磁気検出素子の製造方法における、図 2 1 の次工程を示す断面図、

【図 2 3】 本発明の第 9 の実施の形態によって形成された磁気検出素子を

記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図 2 4】 本発明の第 1 0 の実施の形態である磁気検出素子の製造方法の一工程を示す断面図、

【図 2 5】 本発明の磁気検出素子の製造方法における、図 2 4 の次工程を示す断面図、

【図 2 6】 本発明の磁気検出素子の製造方法における、図 2 5 の次工程を示す断面図、

【図 2 7】 本発明の第 1 1 の実施の形態によって形成された磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図 2 8】 シンセティックフェリフリー型のフリー磁性層の M-H 曲線、

【図 2 9】 バックド層によるスピフィルター効果を説明するための様式説明図、

【図 3 0】 バックド層によるスピフィルター効果を説明するための様式説明図、

【図 3 1】 鏡面反射層による鏡面反射効果を説明するための様式説明図、

【図 3 2】 鏡面反射層による鏡面反射効果を説明するための様式説明図、

【図 3 3】 従来の磁気検出素子の断面図、

【図 3 4】 従来の磁気検出素子の製造方法の一工程図、

【符号の説明】

- 1 1 基板
- 1 2 第 1 の反強磁性層
- 1 3 固定磁性層
  - 1 3 a 第 1 の固定磁性層
  - 1 3 b 非磁性中間層
  - 1 3 c 第 2 の固定磁性層
- 1 4 非磁性材料層
- 1 5 フリー磁性層
- 1 6 非磁性中間層
- 1 7 強磁性層

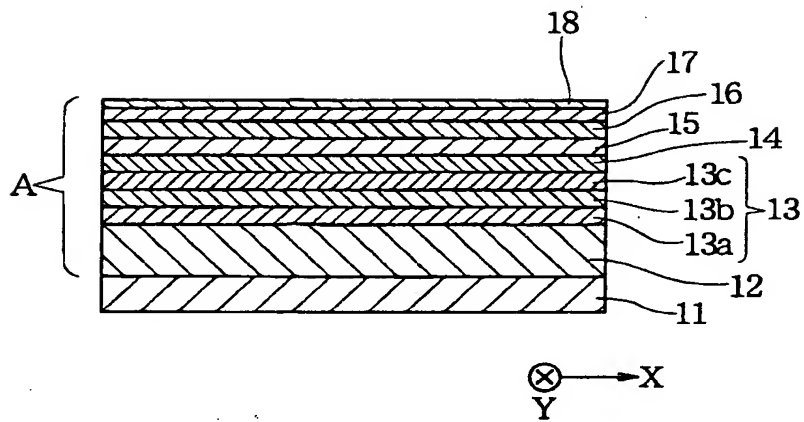


- 1 9、3 2 第 2 の反強磁性層
- 2 1、2 4、4 1、4 5 凹部
- 3 0 非磁性層
- 3 1 他の反強磁性層
- 1 8 保護層
- 2 2、2 3、4 3、4 4 電極層

【書類名】 図面

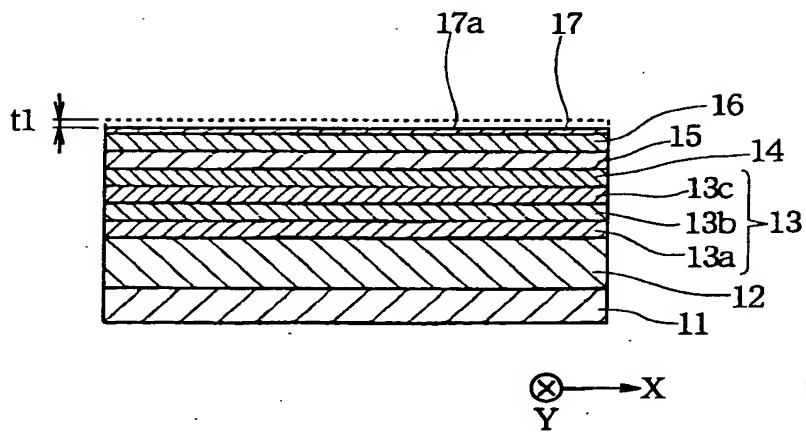
【図 1】

図 1

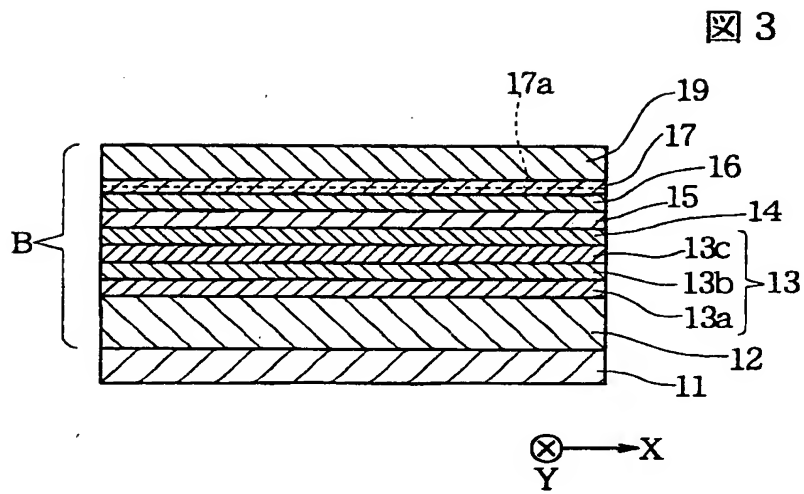


【図 2】

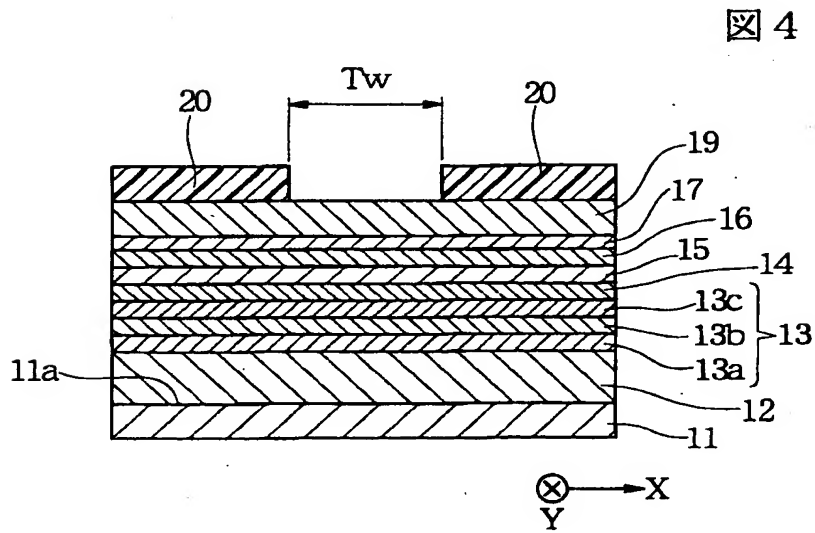
図 2



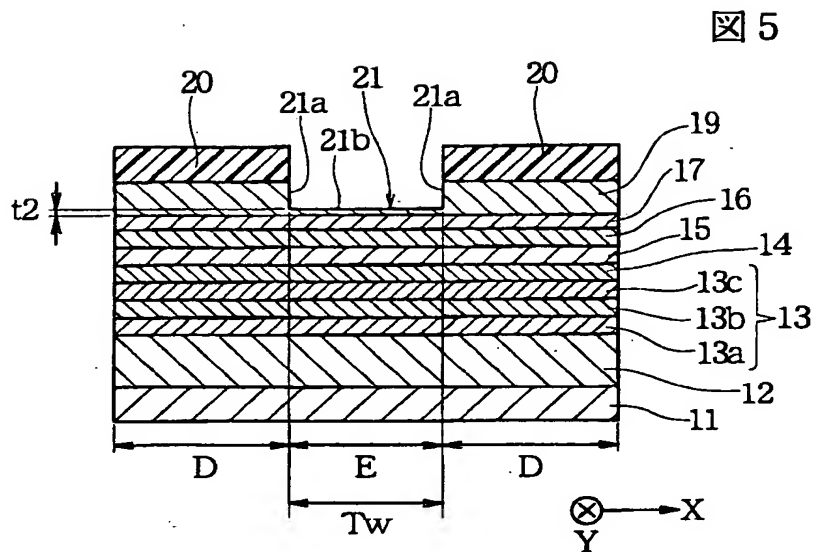
【図 3】



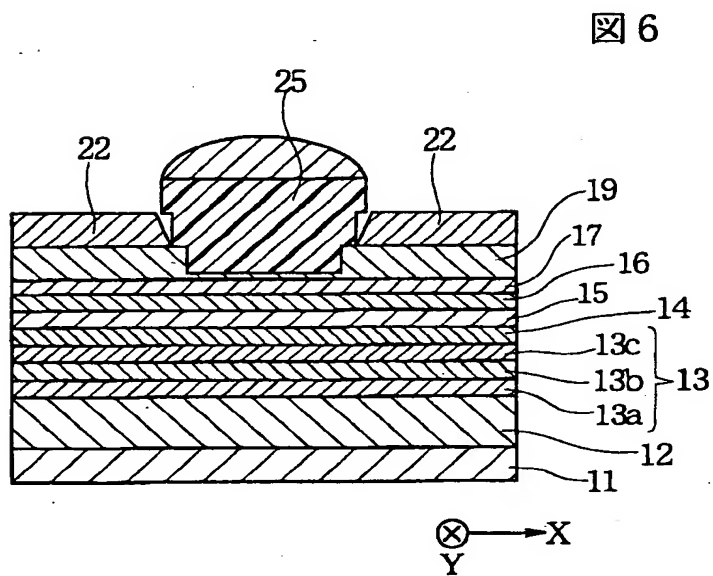
【図 4】



【図 5】

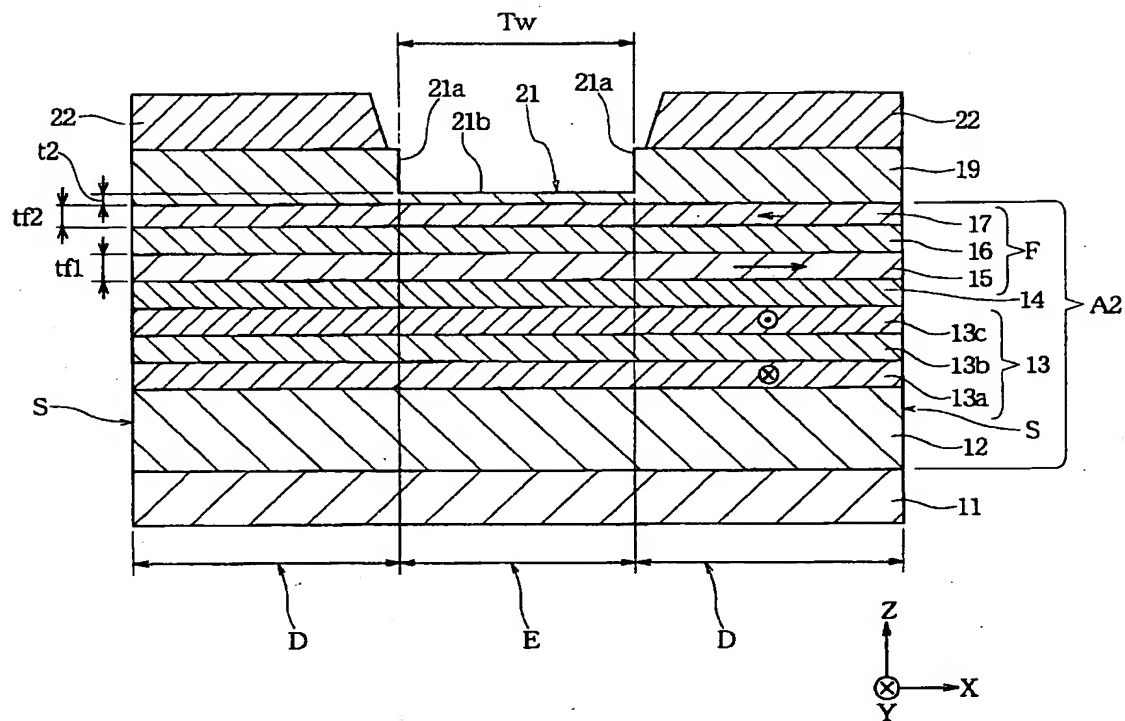


【図 6】



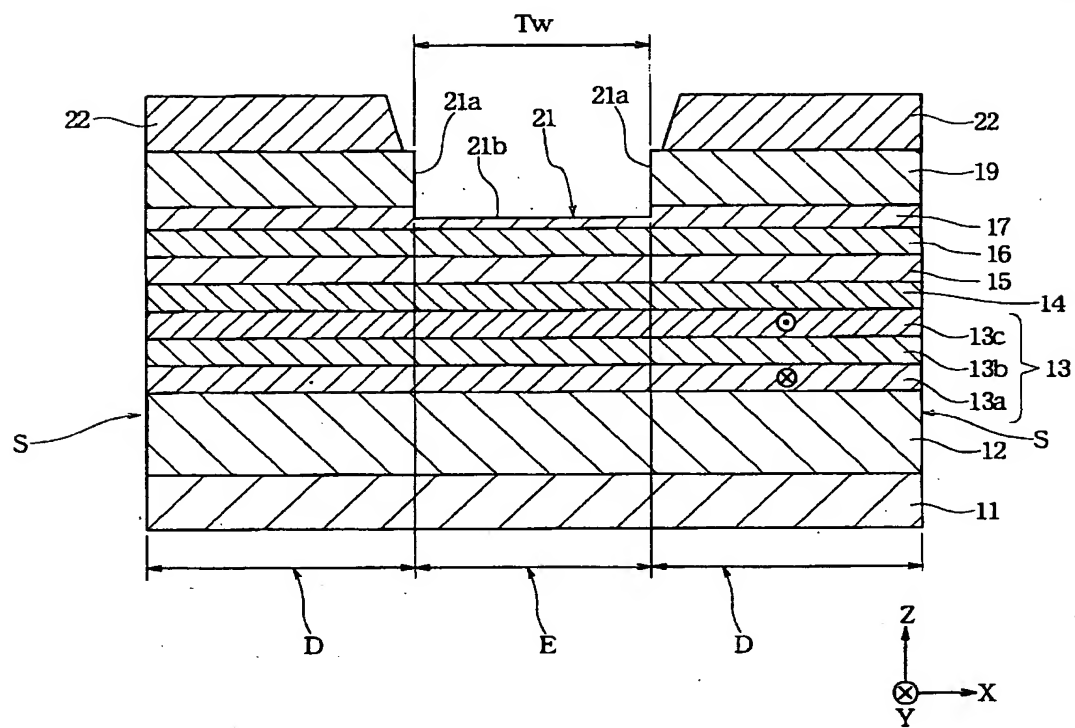
【图 7】

图 7



【図 8】

図 8



【図 9】

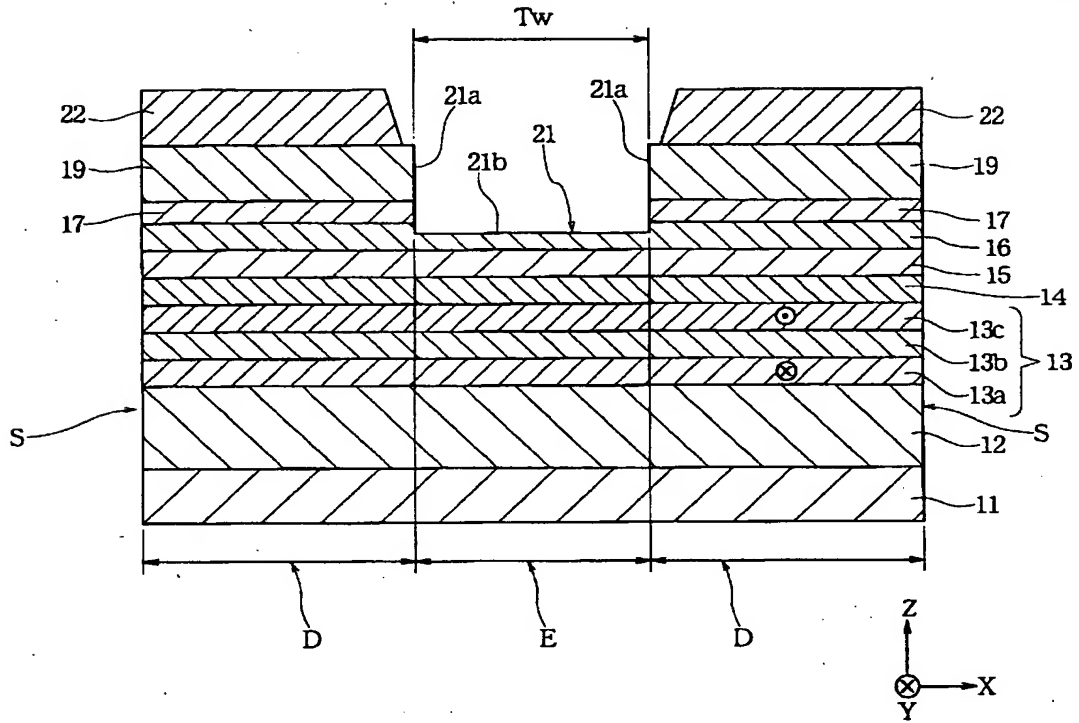


図 9

【図 10】

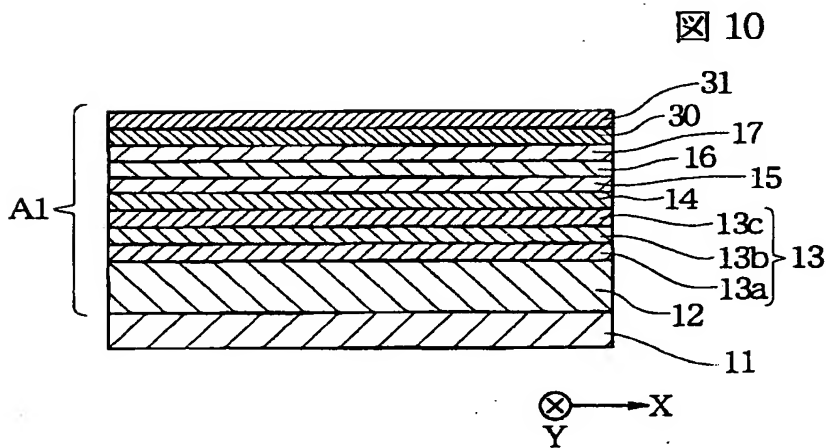
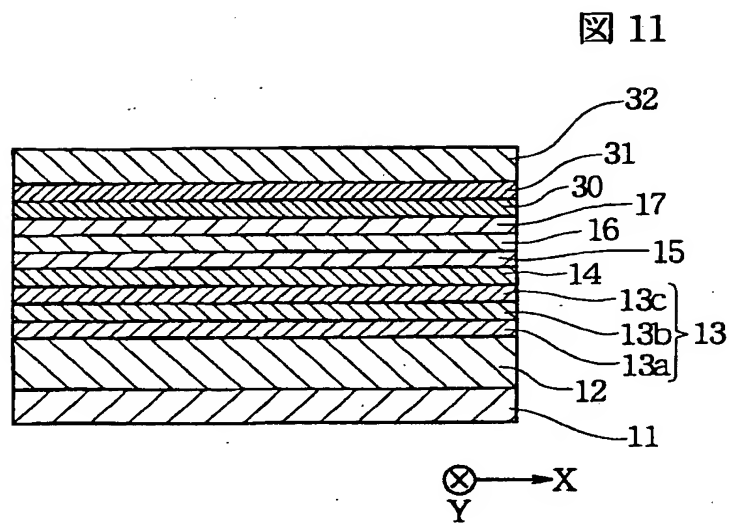
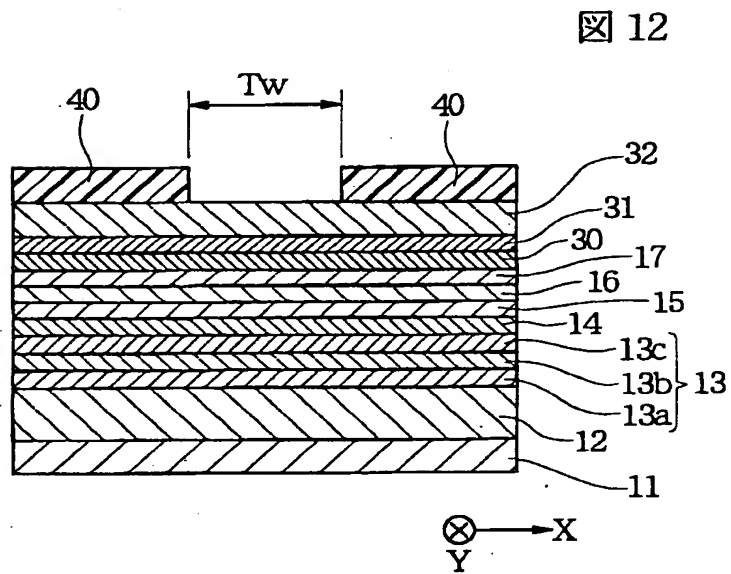


図 10

【図 1 1】



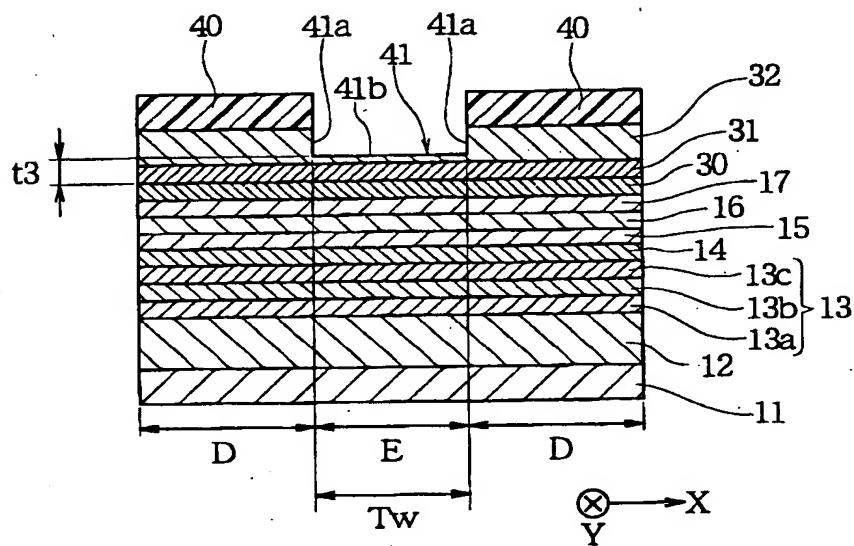
【図 1 2】





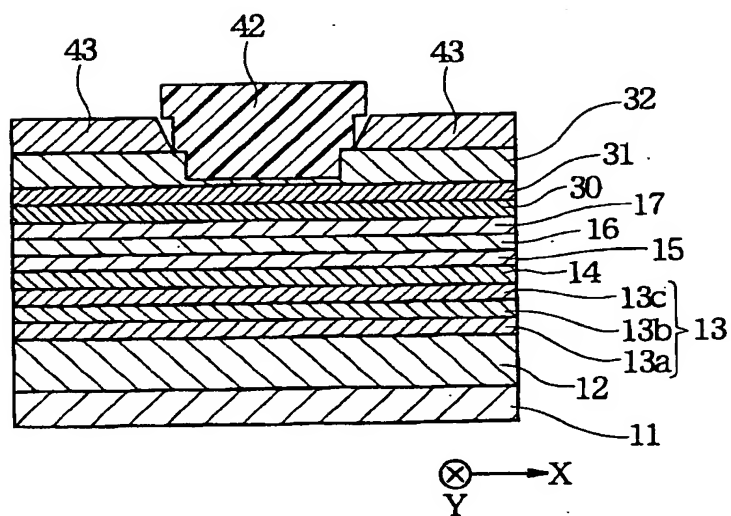
【図 13】

図 13



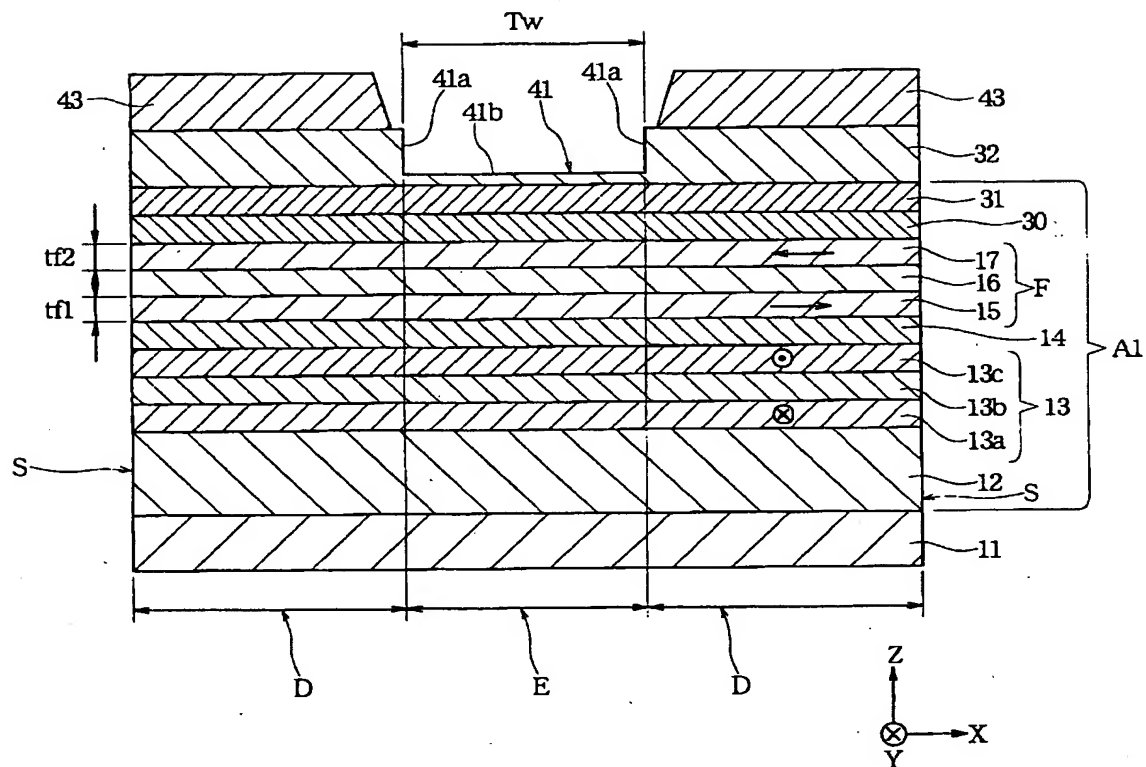
【図 14】

図 14



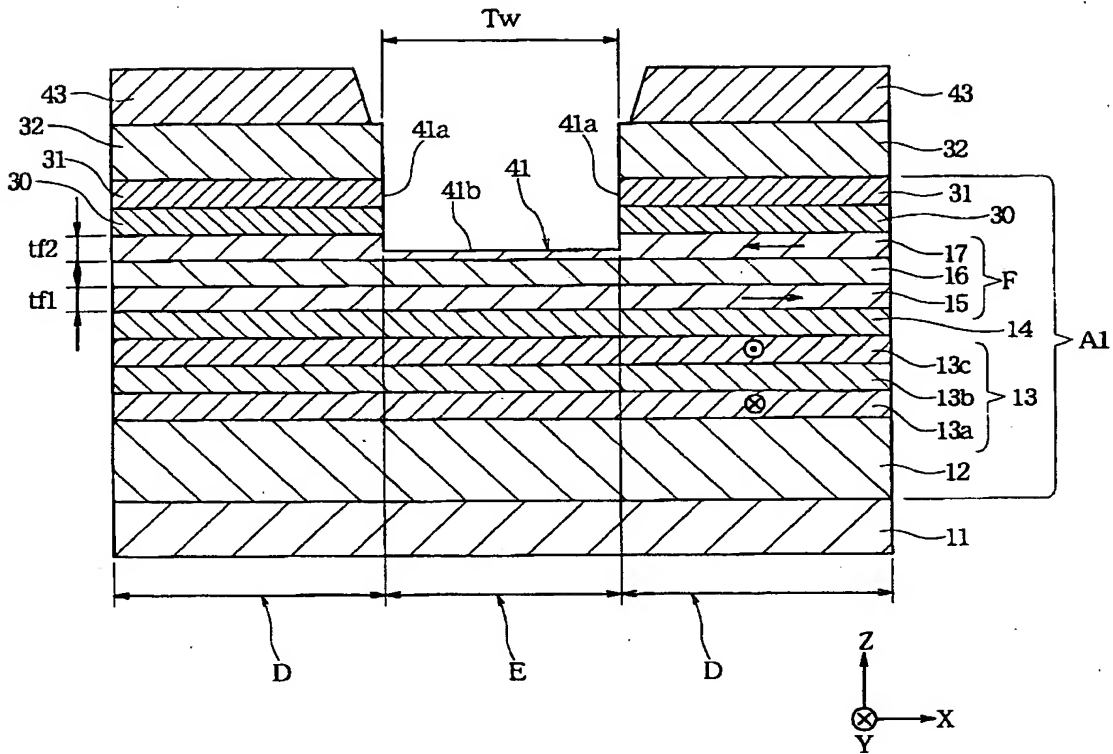
【図 15】

図 15



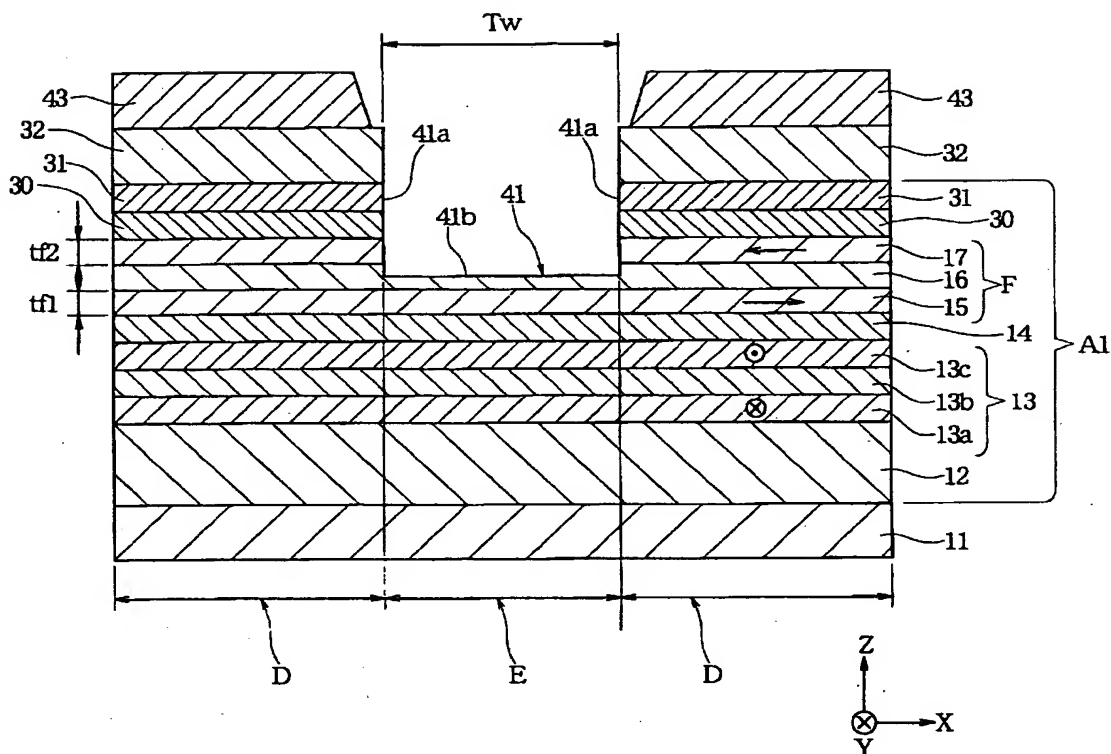
【図 1 6】

図 16



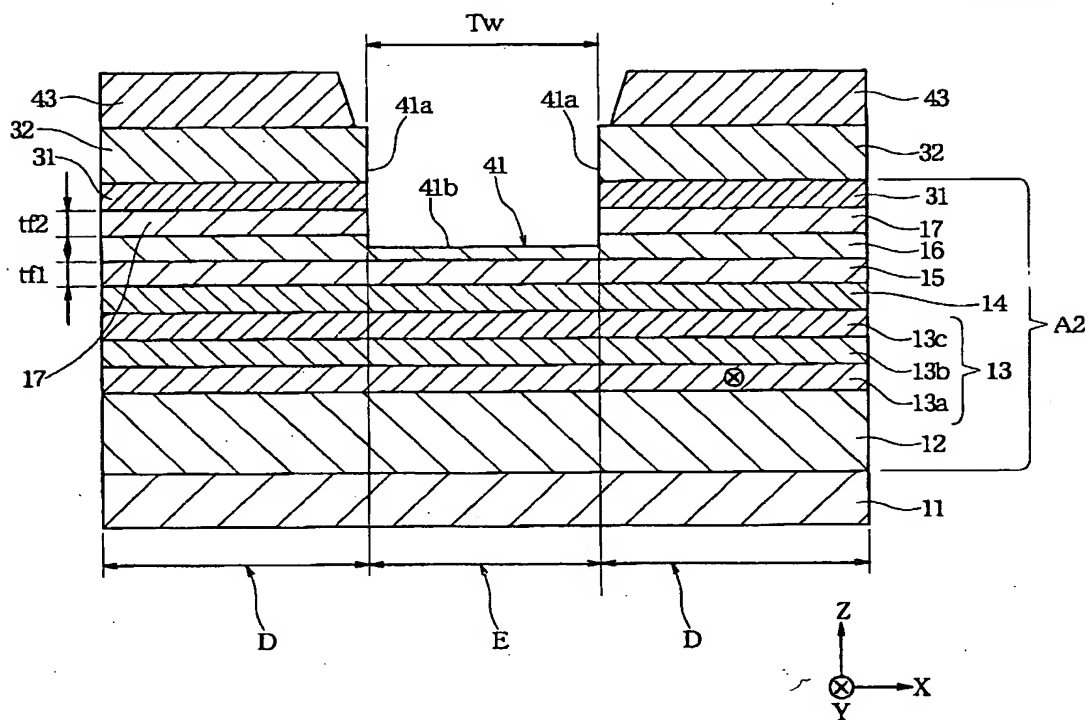
【图 17】

图 17



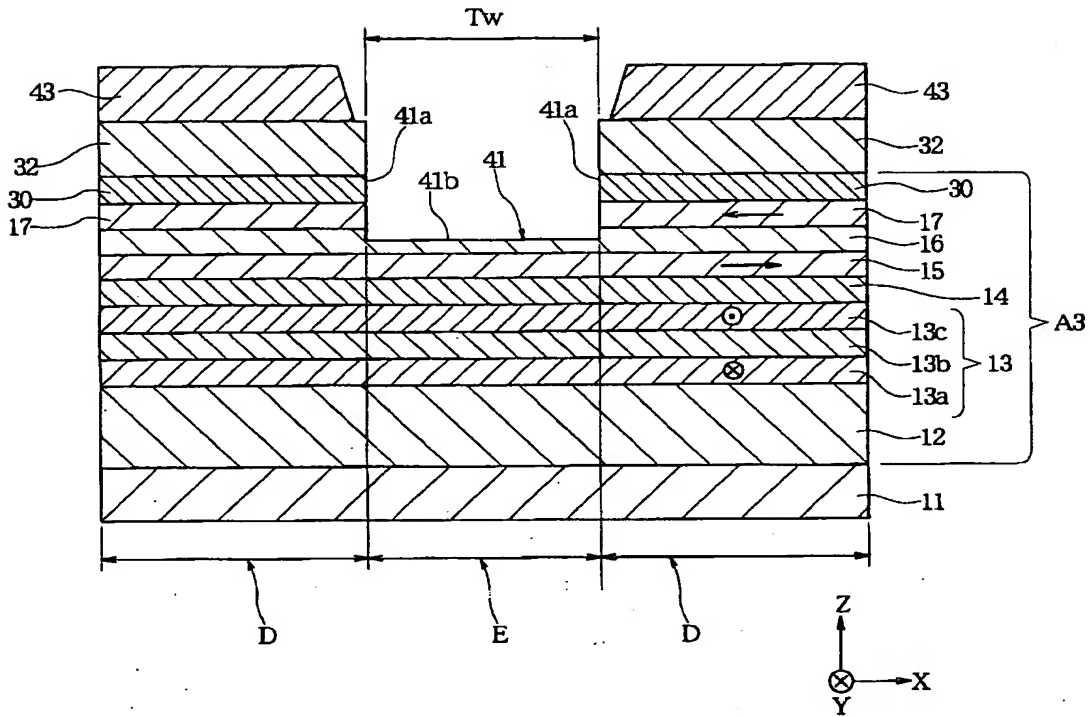
【図 18】

図 18



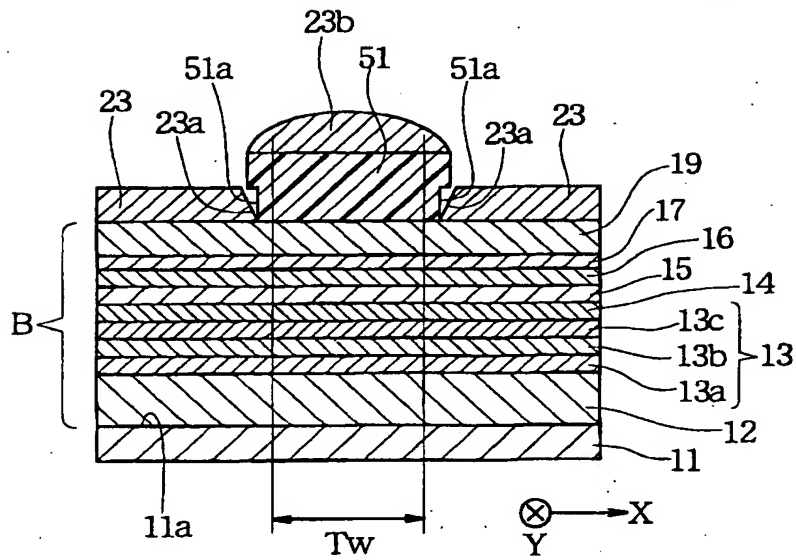
【図 19】

図 19



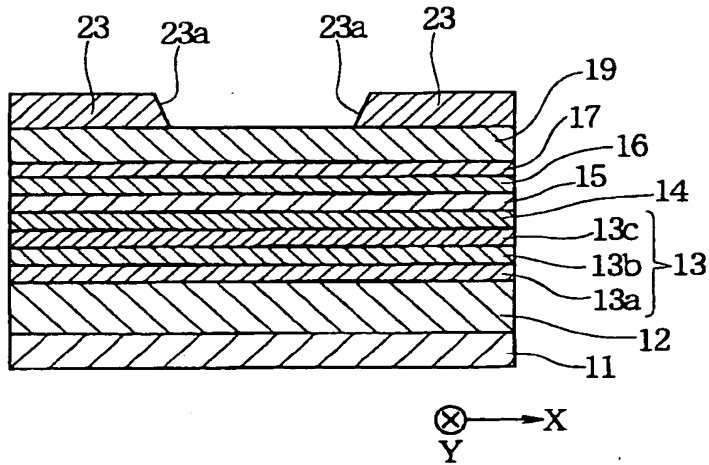
【図 20】

図 20



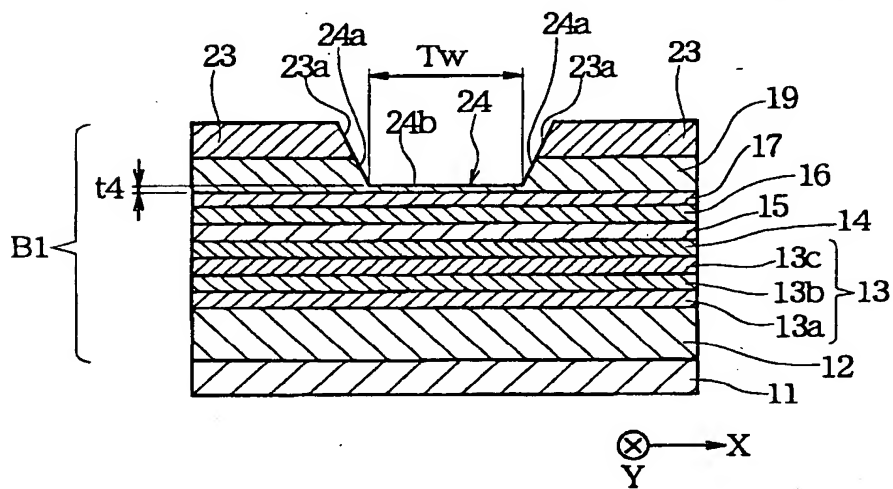
【図 2 1】

図 21



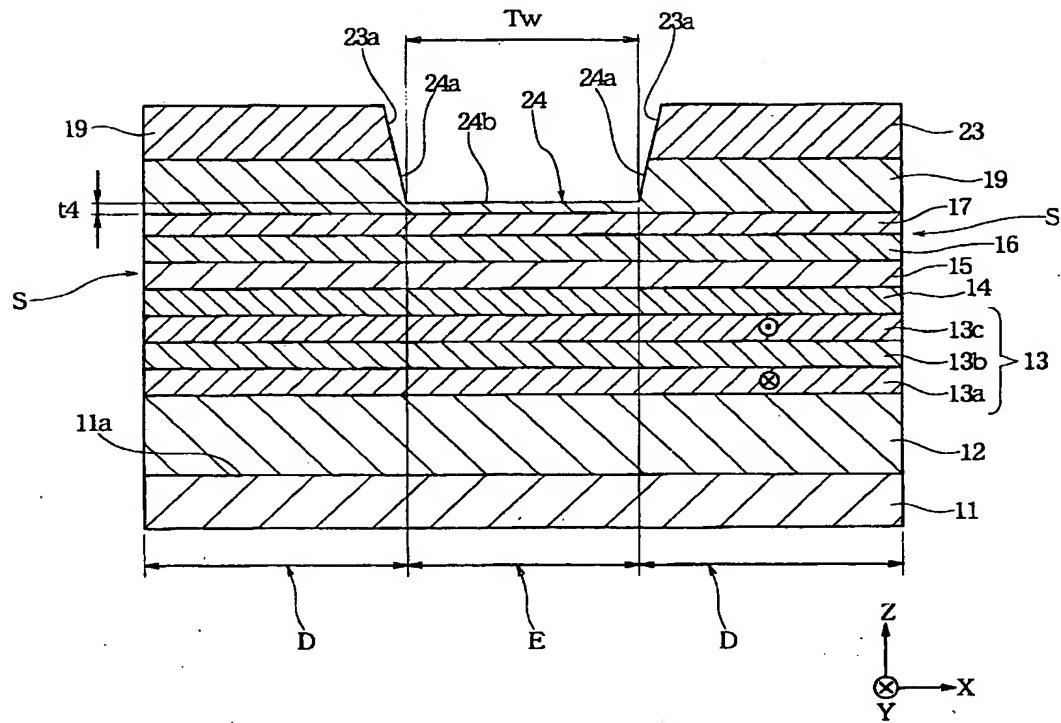
【図 2 2】

図 22



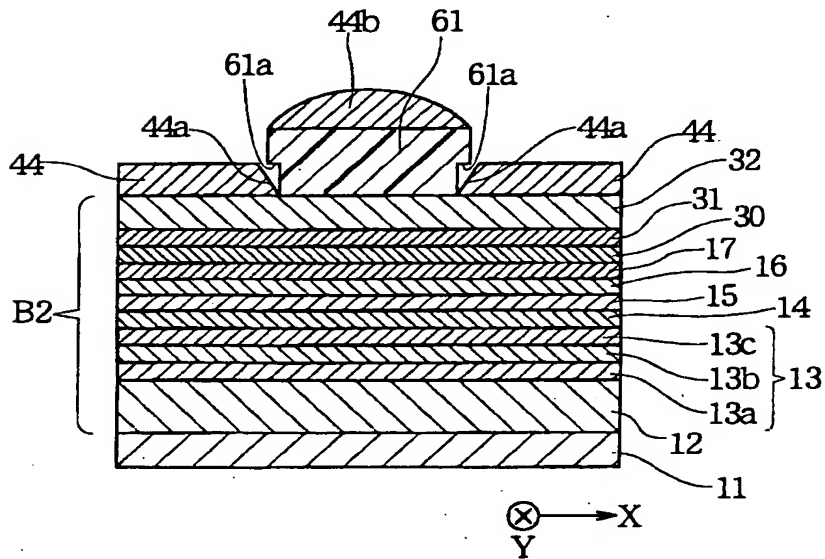
【図 23】

図 23



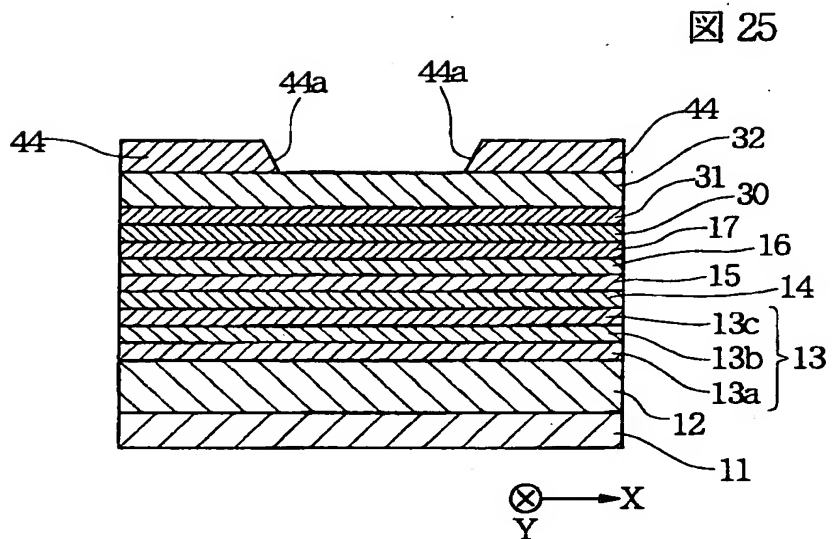
【図 24】

図 24

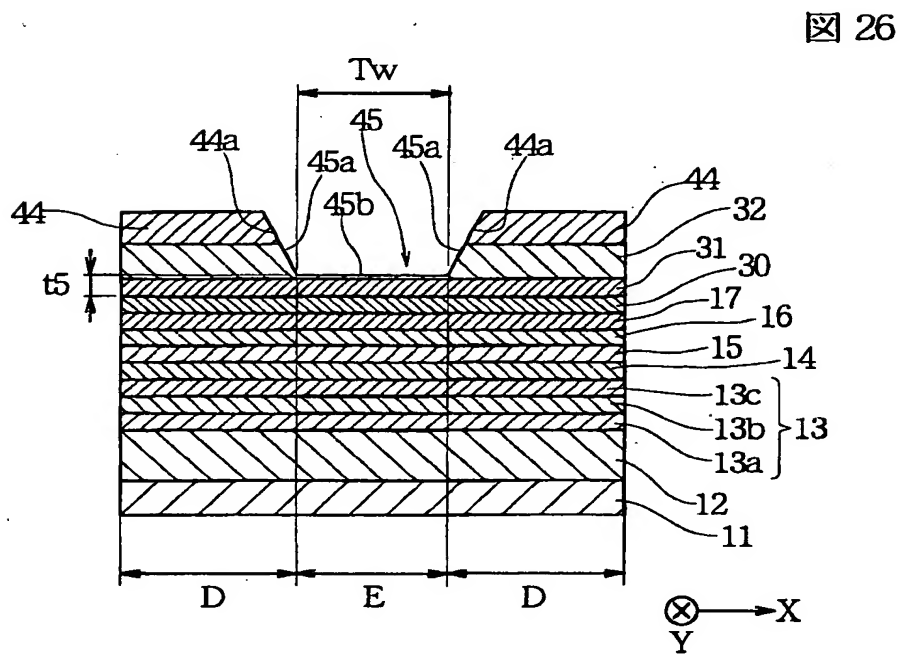




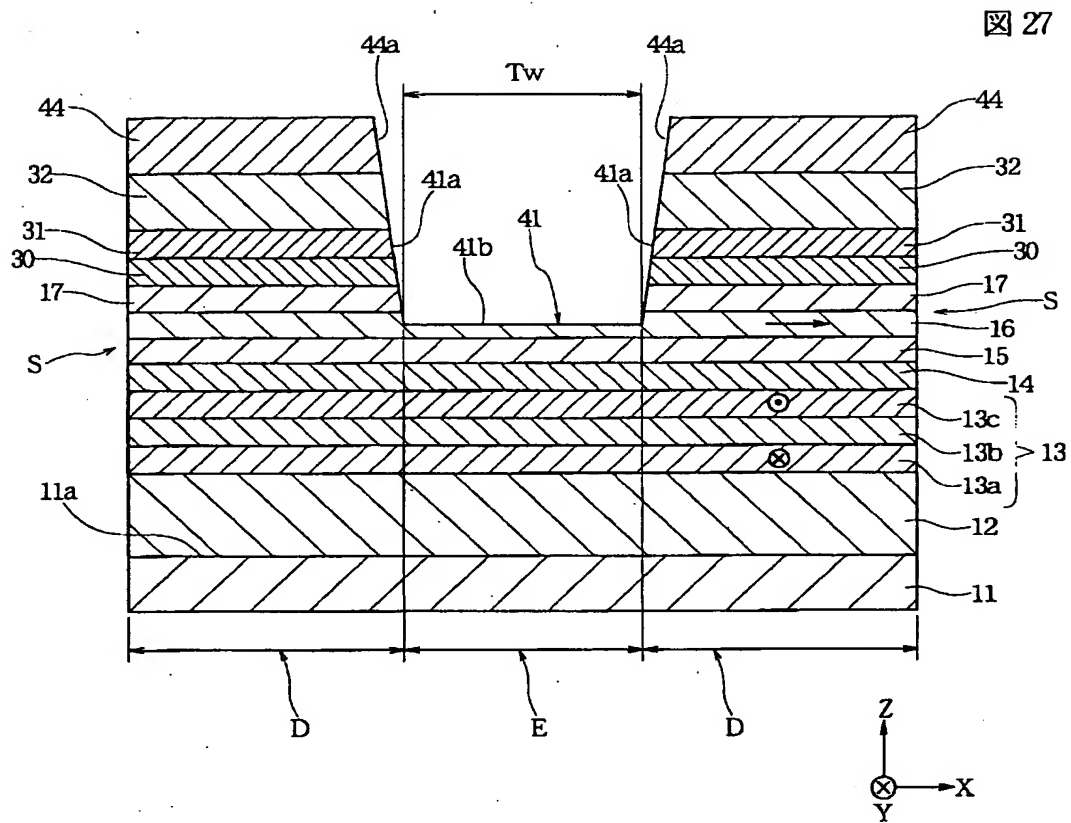
【図 25】



【図 26】

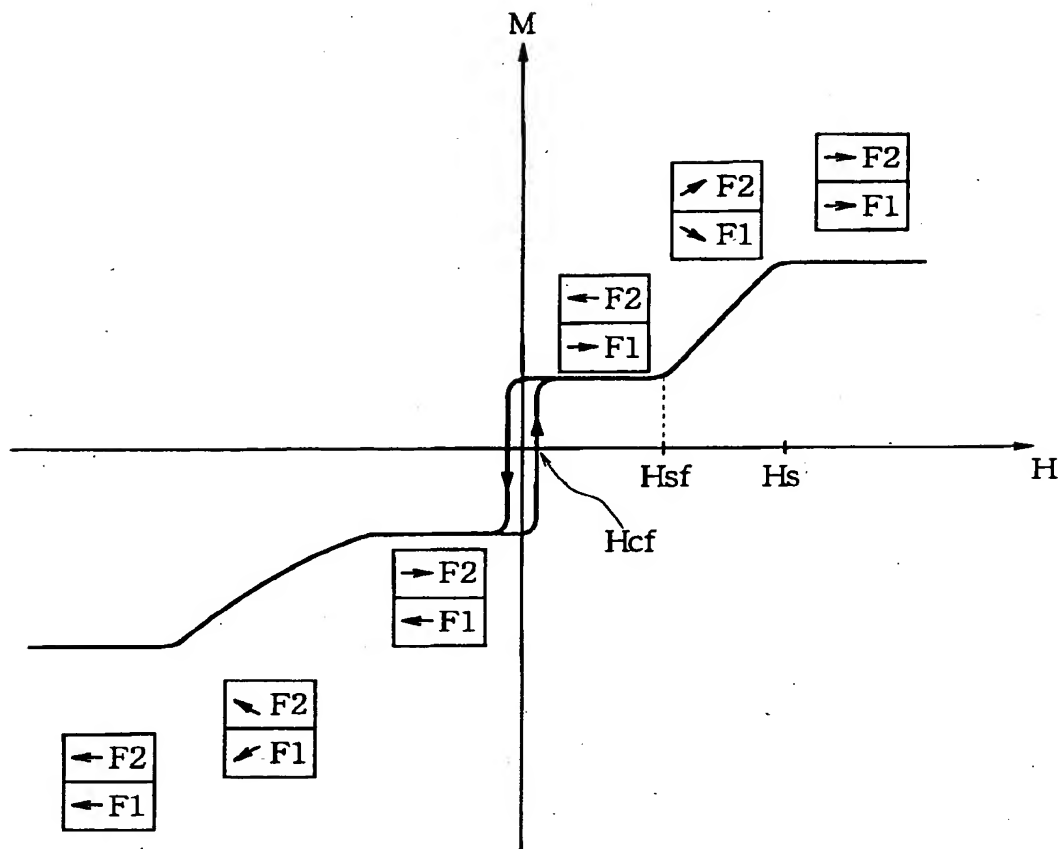


【图 2 7】



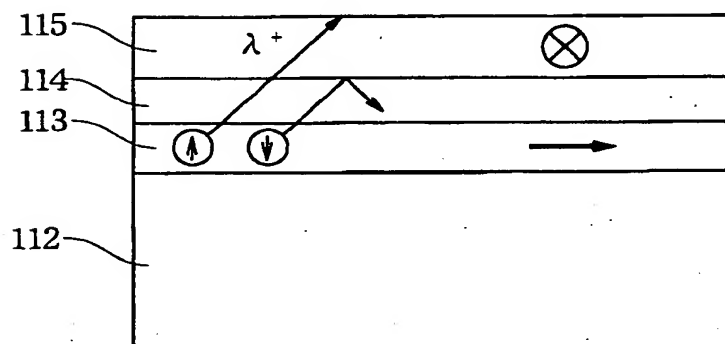
【図 28】

図 28



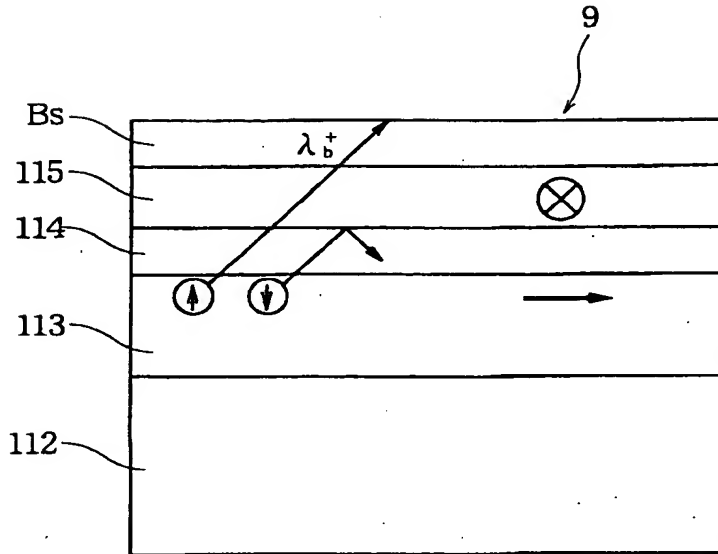
【図 29】

図 29



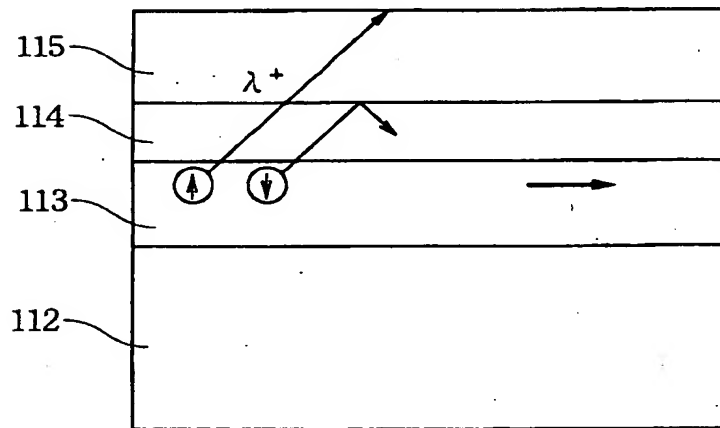
【図 3 0】

図 30



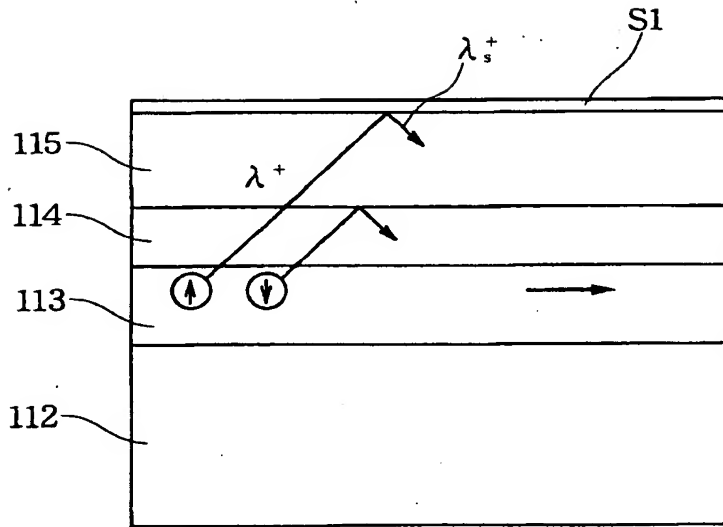
【図 3 1】

図 31



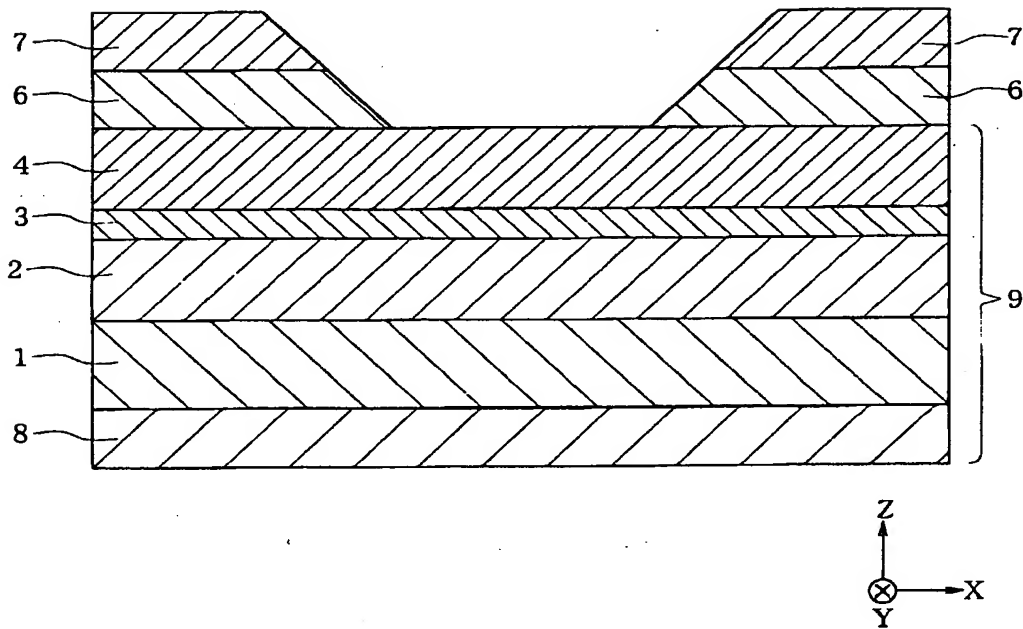
【図 3 2】

図 32



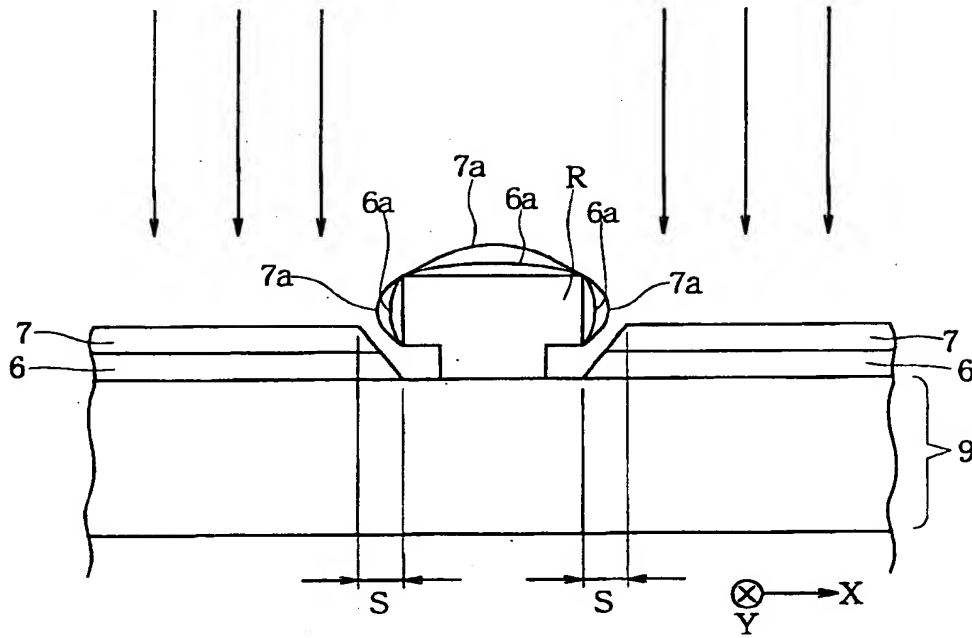
【図 3 3】

図 33



【図 3 4】

図 34



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 従来のエクステンジバイアス型の磁気検出素子の製造方法では、固定磁性層とフリー磁性層の磁化方向を直交させることが難しかった。

【解決手段】 第1の反強磁性層12及び固定磁性層13を含む多層膜Aを第2の反強磁性層19)を積層しない状態で、第1の磁場中アニールにかけ前記固定磁性層の磁化方向を所定の方に固定する。その後、第2の反強磁性層19を積層した後、第2の磁場中アニールにおいて第2の反強磁性層の磁化方向を固定する。

【選択図】 図3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000010098]

1. 変更年月日 1990年 8月27日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 東京都大田区雪谷大塚町1番7号  
氏 名 アルプス電気株式会社